

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA



***VIAL ENTRE EL MUNICIPIO DE MÓSTOLES Y EL POLÍGONO
INDUSTRIAL VALDEARENAL (ARROYOMOLINOS)***

Madrid, Julio de 2013

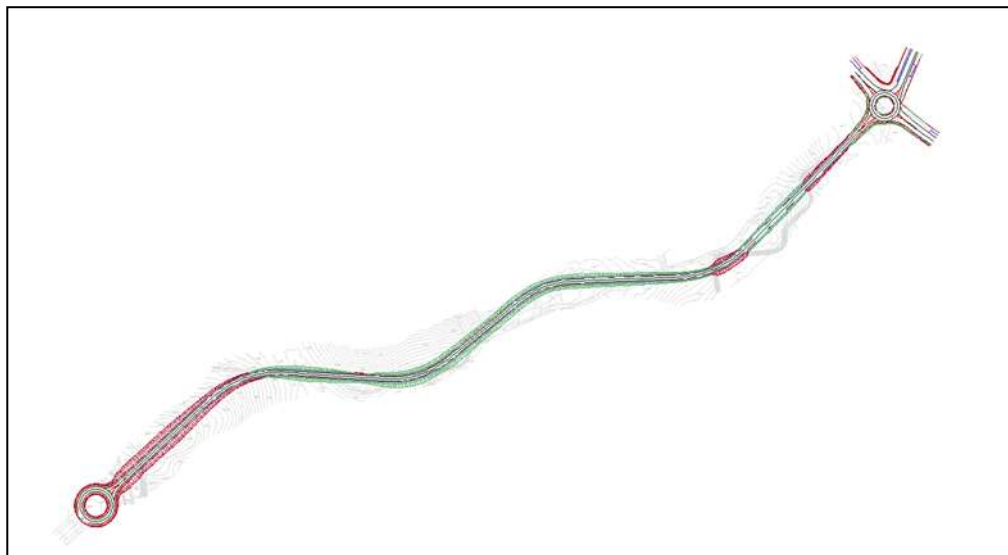
Alumno: David Díaz Pérez

Tutor: José Ricardo Roca Novoa

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA,
GEODESIA Y CARTOGRAFÍA
TITULACIÓN DE INGENIERO TÉCNICO EN TOPOGRAFÍA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**VIAL ENTRE EL MUNICIPIO DE MÓSTOLES Y EL POLÍGONO
INDUSTRIAL VALDEARENAL (MÓSTOLES)**



Madrid, Mayo de 2013

Alumno: David Díaz Pérez

Tutor: José Ricardo Roca Novoa

Agradezco a mi familia por su apoyo durante estos años, en especial a mi padre que ya no está, y a toda la gente que siempre me ha apoyado.

Gracias a Belén, ya que si no es por ella no habría hecho la carrera.

También quiero dar las gracias a mi abuelo Juan, a Char y a Uri por su ayuda prestada en campo, además de a Jesús y a Juanma.

Por último, gracias a mi tutor José Ricardo Roca Novoa, que me ha guiado durante el proyecto.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. LOCALIZACIÓN	1
1.3. ANTECEDENTES	4
1.4. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	4
1.5. ANTEPROYECTO	6
2. TOMA DE DATOS	11
2.1. RED GPS	11
2.1.1 Introducción	11
2.1.2 Fundamentos teóricos	11
2.1.3 Consideraciones previas	13
2.1.4 Material utilizado	14
2.1.5 Medición	15
2.2. LEVANTAMIENTO	18
2.2.1 Introducción	18
2.2.2 Fundamentos teóricos	18
2.2.3 Material utilizado	19
2.2.4 Medición	20
2.3. NIVELACIÓN	21
2.3.1 Introducción	21
2.3.2 Fundamentos teóricos	22
2.3.3 Material utilizado	25
2.3.4 Nivelación entre bases	27
2.3.4.1 Tolerancias	27
2.3.4.2 Resultados	28
2.3.5 Obtención de cota oficial	28

3. CARTOGRAFÍA BASE	29
3.1. AJUSTE DE LA RED GPS	29
3.2. ALTIMETRÍA.....	31
3.2.1 Nivelación por GPS	31
3.2.2 Desniveles por nivelación geométrica	32
3.2.3 Resultado final	32
3.3. AJUSTE DEL LEVANTAMIENTO	33
3.4. CURVADO	34
3.4.1 Modelo digital del terreno	34
3.4.2 Curvado	36
3.5. DISEÑO DE LA CARTOGRAFÍA.....	38
 4. DISEÑO Y AJUSTE DEL VIAL	 39
4.1. INTRODUCCIÓN.....	39
4.2. GEOMETRÍA DEL VIAL	39
4.2.1 Planta	39
4.2.1.1 Tolerancias	39
4.2.1.2 Rectas	40
4.2.1.3 Curvas circulares	40
4.2.1.4 Curvas de transición	41
4.2.1.5 Diseño del eje	42
4.2.2 Alzado	44
4.2.3 Sección transversal	46
4.2.3.1 Sección tipo	46
4.2.3.2 Firme	48
4.2.4 Peraltes	49
4.3. COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y ALZADO	50
4.4. INTERSECCIONES	52
4.4.1 Introducción	52
4.4.2 Glorietas	53
4.4.2.1 Concepto	53
4.4.4.2 Planta	54
4.4.4.3 Alzado	56

4.4.4.4 Sección tipo.....	56
4.4.4.5 Diseño de la nueva glorieta.....	57
4.5. SERVICIOS AFECTADOS.....	60
4.6 SEÑALIZACIÓN.....	61
4.6.1 Señalización vertical.....	61
4.6.2 Señalización horizontal.....	64
4.7 DISEÑO DE LA CARTOGRAFÍA FINAL.....	65
5. EXPROPIACIONES	69
6. PRESUPUESTO	73
7. CONCLUSIONES	78
8. BIBLIOGRAFÍA.....	79

ANEXOS

ANEXO A: ESTADILLOS DE NIVELACIÓN

ANEXO B: RESEÑAS

ANEXO C: INFORMES DEL AJUSTE

ANEXO D: PUNTOS SINGULARES

ANEXO E: VÉRTICES DE RASANTES

ANEXO F: MOVIMIENTOS DE TIERRAS

ANEXO G: EXPROPIACIONES

ANEXO H: PLANOS



1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Mediante la realización del proyecto de fin de carrera se pretende aplicar parte de los conocimientos adquiridos durante la carrera, así como solidificar y expandir estos conocimientos.

El tipo de proyecto que se ha elegido, el diseño de un vial, pretende aplicar la máxima cantidad posible de conocimientos aprendidos durante la carrera en el área de la topografía aplicada a la obra civil: ajuste de redes, levantamiento topográfico, diseño de cartografía, trazado de obras lineales, etc.

Para la elección del proyecto se localizó un lugar que permitiese la realización de un proyecto de este tipo, lo que se basó principalmente en buscar una zona de campo cuyo acceso fuese posible sobre la que diseñar un vial pudiéndose enlazar con otras carreteras o con zonas urbanas. Además, se buscó que se encontrase en un lugar en el que poder trabajar de la forma más conveniente posible, lo que implica buscar un lugar desde el que no fuese necesario recorrer una gran distancia para poder llegar hasta él.

1.2. LOCALIZACIÓN

La zona del proyecto está situada dentro de la Comunidad Autónoma de Madrid. En la zona suroeste de Madrid está ubicado el municipio de Móstoles, con 206.031 habitantes, siendo el segundo municipio en población de la comunidad, y una superficie de unas 4.536 Ha. Este se encuentra a 18 km de la capital, Madrid, y forma parte de su área metropolitana. Al sur de Móstoles está localizado el municipio de Arroyomolinos, con 19.523 habitantes y 2.066 Ha. Entre estos dos términos municipales se sitúa la zona de proyecto, estando ubicada en la región de campo que hay comprendida entre el sur de Móstoles y el norte del Polígono Industrial Valdearenal, perteneciente al municipio de Arroyomolinos.



Fig. 1.1 Comunidad de Madrid



Fig. 1.2 Términos municipales de Móstoles y Arroyomolinos

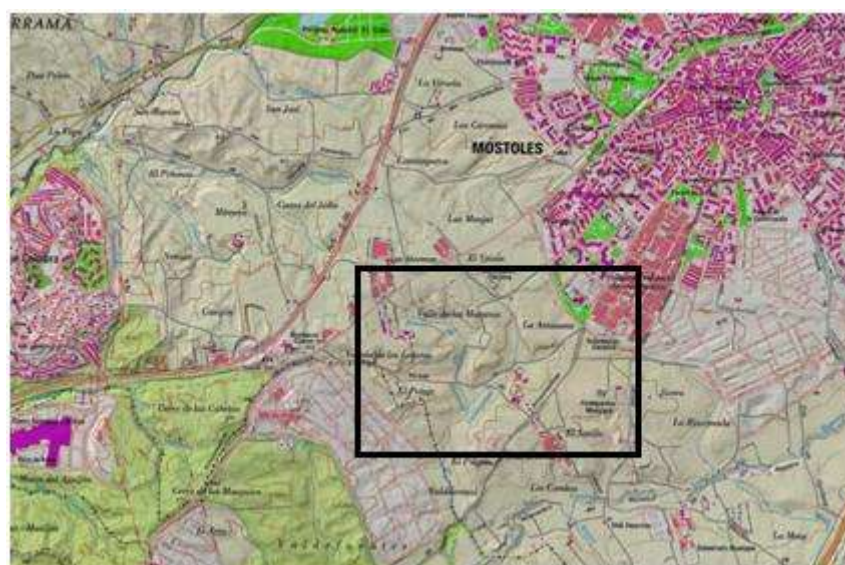


Fig. 1.3 Región del proyecto



El clima de la región es un clima mediterráneo continental, debido a la altitud y a la disposición de las montañas que impiden que lleguen las masas de aire húmedo marítimo del Atlántico. Esto crea una amplitud térmica anual alta, siendo sus temperaturas medias máximas son de 32° C en verano y 11° C en invierno; mientras que las mínimas son de 18° C y 2° C respectivamente.

La precipitación anual media es de aproximadamente 447 mm. Las épocas más lluviosas son la primavera, el otoño y el comienzo del invierno, aunque hay una gran variabilidad de un año a otro.

El terreno es ondulado, sin desniveles bruscos en la superficie del terreno. Está formado por margas y arcillas. Las altitudes del terreno en la zona se sitúan en valores comprendidos entre 600 y 675 m sobre el nivel del mar.

En cuanto a hidrografía, la zona se sitúa dentro del valle del río Guadarrama, perteneciente a la cuenca del Tajo. Destaca el río Guadarrama, que constituye el límite occidental de los municipios de Móstoles y Arroyomolinos. También está presente en el territorio el arroyo de los Combos, afluente del río Guadarrama. El proyecto no se ve afectado por estos dos elementos. A pesar de ello cruza por una cuenca de aguas intermitentes que en caso de lluvia fuerte podrían formar un curso de agua. Se denomina como Arroyo de Gil Manzano en la cartografía de MTN25.

El área del proyecto es una zona de campos de cultivo, con un número muy escaso de árboles o vegetación elevada. Estos cultivos son de secano prácticamente en su totalidad. También hay alguna edificación rural dispersa. En la zona hay dos caminos, que son la Vereda de los Leñeros, que cruza gran parte de la zona de proyecto, y la Vereda de Arroyomolinos.

1.3. ANTECEDENTES

Actualmente el municipio de Móstoles y el Polígono Industrial Valdearenal están unidos por una sola vía, que es la Avenida de Portugal, y con este proyecto se pretende diseñar una nueva vía de comunicación entre ambas zonas.

El vial a diseñar enlaza en uno de su extremo este con la zona sur de Móstoles, en la intersección que forman la Avenida de Extremadura y el Paseo de Arroyomolinos, ambas dentro de Móstoles. Esta zona de Móstoles posee un polígono industrial, que es el Polígono Industrial Arroyomolinos.

En el otro extremo, la zona oeste del vial, se sitúa el Polígono Industrial Valdearenal, emplazado al norte del término municipal de Arroyomolinos. Dentro de dicho polígono industrial, el vial enlaza con la rotonda que se encuentra al final de la Calle de Gutenberg.



Fig. 1.4 Zonas de enlaces este (Móstoles) y oeste (P.I. Valdearenal) del vial respectivamente

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como ya se ha mencionado, el proyecto consiste en el diseño de un vial que une el municipio de Móstoles y el Polígono Industrial Valdearenal, perteneciente al término municipal de Arroyomolinos. Adicionalmente se pretende diseñar una glorieta en su enlace con las vías urbanas de Móstoles para enlazar el vial con las vías urbanas de Móstoles. El enlace con el polígono industrial se realiza en una

glorieta ya presente en la zona. En la figura 1.5 se puede observar la zona del proyecto además del trazado aproximado que se pretende diseñar.



Fig. 1.5 Trazado del vial que se pretende diseñar

Para la realización de este proyecto se ha seguido un proceso que engloba varias fases.

En primer lugar, se ha creado una red que enlaza con las redes geodésicas nacionales con el fin de crear un grupo de vértices iniciales (bases) con coordenadas suficientemente precisas para basar en ellas el resto del trabajo y basadas en un sistema de coordenadas oficial.

Desde las bases obtenidas se ha realizado un levantamiento en el que se ha dado una gran cantidad de puntos con el fin de definir el terreno de la zona lo más ajustado posible a la realidad y definiendo los elementos relevantes que se encuentran en este tales como calles, caminos, vallas, etc. Esta nube de puntos se ha medido en una franja transversal a la carretera planificada inicialmente de unos 60m, 30 a cada lado. La longitud total del tramo levantado es de aproximadamente 1,6km.



Finalmente en campo, se ha realizado una nivelación entre las bases para que el desnivel entre estas sea lo más preciso posible y las diferentes zonas de puntos del levantamiento se ajusten la mejor posible entre sí.

Realizada la parte de campo, se ha pasado a la parte de gabinete, donde se ha comenzado ajustando todos los resultados obtenidos para que la nube de puntos se acerque lo máximo que se pueda a la superficie real del terreno. Con estos datos se ha realizado la cartografía, dibujando todos los elementos de la zona y las líneas de nivel para definir la zona sobre el plano.

Una vez hecha la cartografía se ha diseñado el vial y la glorieta nueva sobre esta y los enlaces con las zonas urbanas, ajustando esto a la normativa legal existente y estableciendo la señalización.

Sobre el vial ya diseñado se ha realizado el cálculo de expropiaciones y, por último, el cálculo de presupuestos.

El sistema de referencia en el que se encuentra todo el proyecto es ETRS89, que utiliza como modelo de elipsoide el GRS80. El sistema de coordenadas es UTM, ubicándose la zona del proyecto en el huso 30 y en el hemisferio norte. Se ha trabajado con alturas ortométricas, que emplean como datum el nivel medio del mar en Alicante entre los años 1870 y 1882. La razón por la que todos estos parámetros se han usado es debido a que son los oficiales en España.

1.5. ANTEPROYECTO

Previamente a la realización del proyecto, se ha comenzado efectuando un anteproyecto con el fin de determinar los aspectos del proyecto antes de llevarlo a cabo y agilizar este una vez en campo.

Los procesos que se van a realizar en campo son los siguientes:



- Materialización de las bases
- Medición de la red principal por técnicas GPS, apoyándose en vértices de la ROI/REGENTE
- Levantamiento de la zona mediante GPS en método RTK
- Si fuese necesario, poligonal y radiación utilizando estación total
- Nivelación

Para planificar estos procesos, en primer lugar se han descargado la cartografía y la ortofoto de la zona, ambas del IGN, para diseñar sobre ellas un trazado previo del vial del que se va a efectuar el proyecto con CLIP.

Dado que la cartografía y la ortofoto tienen un sistema de referencia diferente entre sí (la cartografía está en ED50 y la ortofoto en ETRS89), se ha optado por realizarse sobre la ortofoto, ya que solo se necesita la planimetría y la ortofoto ofrecía una visión más precisa de la zona en cuanto a interpretación de los elementos que hay en ella además de coincidir con el sistema de referencia en el que se va a realizar el proyecto. Por otro lado, la cartografía no representaba de forma muy clara las edificaciones de la zona.

El trazado se ha realizado siguiendo en lo posible el camino existente y evitando que se superpusiera a las edificaciones cercanas al camino, además de cumpliendo la normativa de carreteras 3.1-IC. El tipo de carretera elegida es una C60.

La glorieta no se ha diseñado en este proceso y solo se ha llevado el eje hasta la intersección sobre la que se diseñará la rotonda, dejando esta parte para el proyecto final ya que ahora se pueden planificar los procesos en campo sin realizar la rotonda.

Los parámetros seleccionados para el número de carriles y el ancho de calzada, arcén y bermas siguiendo la norma de carreteras es el siguiente:

Nº de carriles: 2, uno en cada sentido

Ancho de calzada: 3,5 m

Ancho de arcén: 1 m

Ancho de berma: 0,75 m

Junto con esto se han dibujado líneas a 30 m a cada lado del eje para disponer de una zona aproximada de lo que se va a levantar.

Además del trazado del vial se puede observar que están dibujadas las bases. El criterio seguido para su selección ha sido disponer de un horizonte despejado y evitar obstáculos para que la medición GPS sea lo mejor posible.

Las bases se han situado en previsión de que hiciese falta utilizar estación total, por lo que no hay distancias excesivamente largas (se mantienen en unos 300 m) y hay visibilidad mutua entre bases. El número total de bases es de 6, siendo su denominación 100x, con x entre 1 y 6.

Una vez diseñado el trazado se han planificado los procesos en campo. La red principal se medirá apoyándose en vértices de la ROI/ REGENTE. Para conocer los vértices más cercanos a la zona se ha consultado el visor de vértices de la página del IGN (<http://www.ign.es>). Los vértices existentes en la zona son los siguientes:



Fig. 1.6 Vértices ROI y REGENTE presentes en la zona



Dado que solo se necesita uno (además de las estaciones fijas GPS que se utilizarán en el ajuste), se ha optado por el vértice de Guardia Civil.

El levantamiento se realizará por técnicas GPS en método RTK. El procedimiento será el de dejar un GPS fijo en la base mientras con otro equipo GPS montado sobre jalón se dan puntos en la zona a levantar. En los futuros enlaces se dará una mayor cantidad de puntos y se levantará un tramo de los ejes ya existentes.

En caso de no poder acceder a alguna zona con GPS debido a vegetación, edificaciones, etc., se utilizará la estación total.

Habría que crear algunas bases más en el inicio y en el final para poder usar como referencias. Utilizando estas referencias se llevaría a cabo una poligonal y desde las bases que fuese necesario se realizaría el levantamiento (radiación).

De todos modos, lo más probable es que no haga falta, ya que la zona no tiene apenas obstáculos.

Por último, se llevaría a cabo la nivelación con la finalidad de llevar una cota oficial al proyecto y ajustar los desniveles entre bases.

En primer lugar se llevaría la cota desde un punto de cota conocida con precisión, donde la mejor opción es la nivelación geométrica. De nuevo en el visor del IGN se han consultado los clavos de la RED de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) cercanos a la zona. Son los siguientes:



Fig. 1.7 Clavos de REDNAP de la región

Viendo los clavos de la zona y observando las reseñas el clavo seleccionado es el número 816017. La elección de este clavo se debe, a parte de su cercanía, a que todos los clavos se encuentran al lado opuesto de la autovía o en la mediana, y este clavo está próximo a un paso elevado peatonal.

Entre las bases se realizaría otra nivelación geométrica.

Cabe destacar que los procesos en campo no tienen que seguir un estricto orden, pudiendo variar para ajustarse a lo más conveniente durante su ejecución.



2. TOMA DE DATOS

2.1. RED GPS

2.1.1 Introducción

Con la observación de la red se pretende crear una serie de vértices materializados en el terreno y de coordenadas conocidas con precisión desde los que referir posteriormente el levantamiento y cualquier otro posible trabajo que se pudiera llevar a cabo después.

Para la realización y observación de la red se debe realizar una buena planificación de los lugares en los que se van a colocar los vértices, así como la geometría y la cantidad de estos, lo que ya se he hecho previamente en el anteproyecto.

El método a utilizar para la observación de la red requiere la obtención de unas coordenadas suficientemente precisas como para poder dar el uso que se pretende a los vértices. Esta se puede medir por técnicas GPS o por topografía clásica, habiéndose realizado mediante GPS en este proyecto, ya que era el método que ofrecía la solución óptima en cuanto a precisión, tiempo y medios además de no existir obstáculos que impidan esta forma de medición.

2.1.2 Fundamentos teóricos

El GPS es un sistema de posicionamiento por satélites uniformemente espaciados alrededor de su órbita y que nos proporcionan información de puntos que están situados en la superficie terrestre, este proceso se lleva a cabo mediante la transmisión-recepción de señales electromagnéticas.

Este sistema está diseñado para funcionar con 24 satélites, distribuidos en seis orbitas, con cuatro satélites en cada una; los cuales se encuentran a una

altura de 20,000 km. Las señales recibidas pueden ser usadas para determinar la posición absoluta del equipo receptor o su posición relativa con respecto a otros equipos receptores ubicados en otros puntos de posición conocida.

El uso de GPS permite varios métodos diferentes de medición, que son los siguientes:

CARACTERISTICAS DE LOS METODOS DE TRABAJO CON GNSS				
Método	Número mín. satélites	Tiempo de observación	Precisión típica	Otras característica
Estático Continuo	4	Desde 1 semana a años	2 mm + 1 ppm	Bifrecuencia. Sin límite distancias. Relativo
Estático	4	Varias horas	5 mm + 1 ppm	Bifrecuencia. Sin límite. Relativo
Estático-Rápido	4	5-20 minutos	1 cm + 1 ppm	Límite 20 km. Relativo
Cinemático	4	1 época	2 cm + 2 ppm	Límite 15 Km. Reinicialización si hay pérdida de señal. Relativo
Cinemático en tiempo real (RTK)	4 (OTF 5)	2-3 épocas	2 cm + 2 ppm	Límite en función sistema comunicaciones. Algoritmo 40 km. Reinicialización si hay pérdida de señal. Relativo
Diferencial (DGPS)	2D: 3 3D:4	1 posición/segundo	Post-pro: 30-40 cm, TR: 50-60 cm	Recepción de correcciones diferenciales o postproceso de las mismas. Relativo
Autónomo (SPP)	2D: 3 3D:4	1 posición/segundo	Con SA: 100 m. Sin SA: 4-10 m	Sólo un receptor

Fig. 2.1 Métodos de medición en GNSS

De todos estos, el más adecuado para la red es el método estático rápido debido a que consigue una precisión lo suficiente buena para el trabajo requerido y no requiere un tiempo excesivo de medición (menos de una hora).

Como se puede observar en la tabla, el método estático rápido presenta una precisión de 1 cm + 1 ppm, la observación requiere varios minutos de medición y el límite de distancia está en 20 km. Utiliza unos algoritmos simplificados de resolución de la ambigüedad inicial.



Este método se basa en la medición de una base estacionando un equipo en ella mientras, simultáneamente, se estaciona otro equipo ubicado en una referencia y midiendo. Una vez superado el tiempo requerido de medición, lo que se calcula en función de la distancia entre ambos equipos, se continuaría con la medición de la siguiente base. La referencia se mantendría salvo que se necesitase usar otra debido a que la distancia fuera demasiado grande. Se continuaría así hasta medir todas las bases pretendidas.

La medición por GNSS presenta varios errores, siendo uno de los más frecuente el error en la medida de la altura. Para conocer la altura del aparato hay que tener en cuenta cuatro parámetros, que son la lectura de altura de la antena, el tipo de medición (vertical o inclinada), el punto de referencia de la medida y el modelo de antena.

Otro error a tener en cuenta es el multipath. Este efecto es causado por múltiples reflexiones de la señal emitida por el satélite en superficies cercanas a la antena. La consecuencia es que las señales recorren un camino más largo y se puede distorsionar la amplitud y forma de la onda. La solución para que una medición no esté afectada por este error es elegir los puntos a medir en lugares en los que no haya obstáculos cercanos que puedan producir este problema y eliminando las señales con baja elevación. Otra medida que se puede tomar es el uso de antenas preparadas para reducir este efecto, pero en el caso de un proyecto de este tipo no es necesario.

2.1.3 Consideraciones previas

Para la colocación de las bases se tuvieron en cuenta varios factores, que son:

- Fácil acceso
- Horizonte despejado, sin obstáculos en elevaciones superiores a 15° ni elementos que puedan interferir en la señal GPS

- Intervisibilidad entre estaciones, con el fin de poder realizar observaciones por topografía clásica si fuese necesario
- Distancias no muy grandes entre estaciones, por la misma razón que en la intervisibilidad
- Distancias homogéneas dentro del trazado

La medición se realizó con un equipo GNSS fijo midiendo en el vértice ROI y otro equipo GPS midiendo durante cierto tiempo en las bases. La determinación de este tiempo de medición depende de la línea base que une el equipo de referencia con el móvil. Para este caso las distancias no superan los 3 km, por lo que con una medición de entre 15 y 20 minutos es suficiente.

2.1.4 Material utilizado

Se han utilizado dos equipos GPS para esta parte del proyecto. El modelo de ambos receptores es el GPS System 500 de Leica. Sus características técnicas son las siguientes:



- Precisión centimétrica en RTK
- 5 mm + 1 ppm para estático rápido
- 3 mm + 1 ppm para estático



El receptor GPS se compone de tres partes, que son la terminal, el receptor y la antena.

La antena emite y recibe la señal GPS. Puede montarse sobre trípode, pilar o bastón.

El receptor es el instrumento que procesa las señales GPS recibidas a través de la antena.

La terminal puede emplearse para definir parámetros en el receptor y para controlar la operación de las mediciones GPS. También se puede utilizar para definir y grabar parámetros en un receptor GPS. La terminal tiene que estar conectada al receptor.

Adicionalmente a esto, el equipo GPS requiere una o varias baterías para su funcionamiento. También permite el uso de tarjeta de datos para almacenar datos o importarlos/exportarlos.

Además de los receptores fue necesario el uso de trípode y bascula para su estacionamiento, flexómetro y material auxiliar para la materialización de los vértices como son maceta, estacas y clavos.

2.1.5 Medición

La medición en campo se realizó dejando un equipo GPS midiendo continuamente en la referencia (vértice ROI) mientras con otro equipo se medían las bases. Dado que las distancias no superan los 20 km ha sido suficiente con una sola referencia.

El equipo fijo en el vértice ROI se colocó mediante estacionamiento forzado sobre pilar (figura 2.2).



Fig. 2.2 Montaje de GPS sobre pilar

Las bases se señalaron por medio de estacas con un clavo en el centro de la cara superior. El diámetro de las cabezas de los clavos es de 1 mm. A pesar de disponer de unas localizaciones para su colocación preestablecidos en gabinete, en algunos casos se varió su posición algún metro para situar las bases en un lugar más conveniente. Su medición se realizó sobre trípode (figura 2.3). Como se había planeado anteriormente, el tiempo de medición fue de 20 minutos por base. También se tuvo en cuenta el intervalo entre épocas, que fue de 10 segundos.



Fig. 2.3 Montaje de GPS sobre trípode

En cada una de las mediciones se anotó la altura de la antena teniendo en cuenta la forma de medirla, la fecha y las horas de inicio y final. Estos datos son necesarios para el post-proceso.

En la siguiente imagen se puede observar la situación geográfica de las bases y el vértice utilizado:

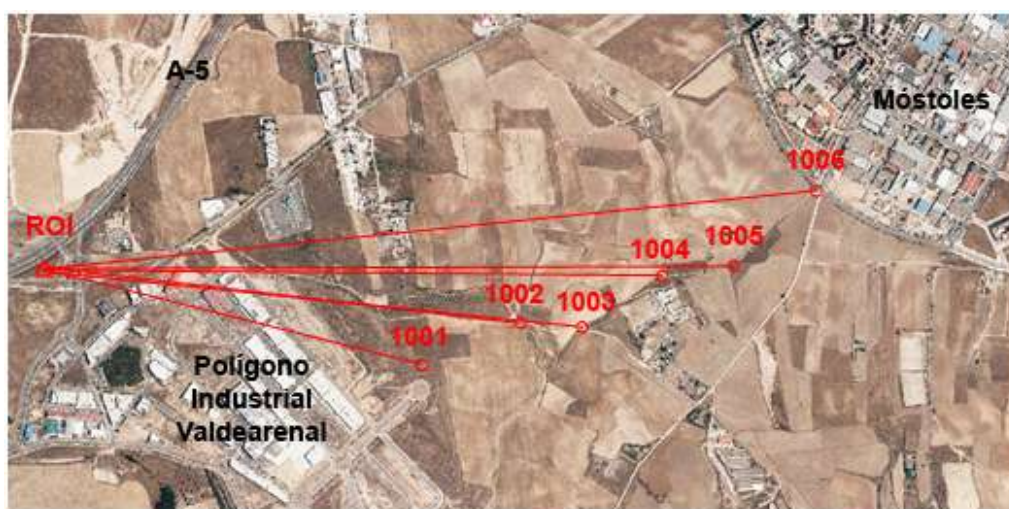


Fig. 2.4 Disposición de la red

Las reseñas se encuentran en el apartado de anexos.

La duración de esta parte del proyecto fue de un día.



2.2. LEVANTAMIENTO

2.2.1 Introducción

Con el levantamiento se busca la obtención de las coordenadas de los puntos existentes en una malla no necesariamente regular sobre la franja de terreno que se desea medir. Esta franja es de 60 m y con los datos del anteproyecto ya se conocía la zona aproximada que se pretendía levantar. La finalidad del levantamiento es la de obtener una nube de puntos que se ajuste lo máximo posible a la realidad junto con todos los elementos relevantes existentes para poder representar la superficie del terreno mediante la cartografía. Esto se puede realizar tanto por topografía clásica como por GPS.

Para este proyecto se decidió realizar el levantamiento mediante GPS en su totalidad, ya que es la opción más rápida, y no había obstáculos que impidiesen la medición. También hay que tener en cuenta que el uso de topografía clásica requeriría la observación de una poligonal o red por topografía clásica y su ajuste, lo que llevaría más tiempo de proyecto y complejidad en los cálculos.

2.2.2 Fundamentos teóricos

El concepto de GPS así como los diferentes métodos ya se han explicado en el apartado 2.1.2 *Fundamentos teóricos*, por lo que simplemente se va a añadir la explicación del método utilizado en esta parte.

El método empleado para trabajar en GPS es por RTK, ya que es el más idóneo para un levantamiento debido a su poco tiempo necesario de observación.

Con este método se estaciona un receptor en un lugar del que se conozcan previamente las coordenadas. Este receptor se deja midiendo mientras recibe la señal de los satélites y envía, mediante radio-módem, los datos observados junto con sus coordenadas y su altura de antena al equipo móvil. El equipo móvil

observa los puntos que se pretenden conocer de la zona, midiendo estos durante unos segundos. Esta forma de medición está limitada a la distancia máxima a la que se pueden comunicar los equipos mediante radio-módem.

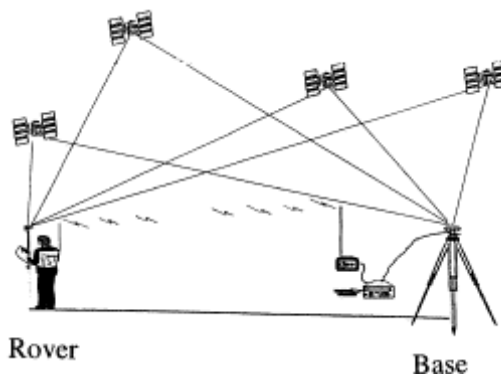


Fig. 2.5 Esquema de medición en RTK

Las precisiones obtenidas por este método son de $2\text{ cm} + 2\text{ ppm}$ y el tiempo de medición es de unos pocos segundos, lo que posibilita levantar muchos puntos en poco tiempo.

Los elementos a medir vienen condicionados por la escala a la que se va a confeccionar la cartografía. Para ello hay que tener en cuenta el límite de percepción visual, que es de $0,2\text{ mm}$. Este límite marcará un tamaño mínimo de los elementos que se deben levantar ya que todo aquello que al pasarlo al plano esté por debajo de este límite no será visible y por lo tanto no se mide en campo. Dado que la escala a la que se va a trabajar es $1/500$, el tamaño mínimo de los elementos es de 10 cm . Todo aquello que se quiera representar y sea menor se debe simbolizar.

2.2.3 Material utilizado

Del mismo modo que en la red, se utilizaron dos equipos receptores GPS System 500 de Leica. Debido al diferente método de medición, el uso de la basada se sustituyó por jalón y mochila porta-GPS para la medición en RTK.

El equipo fijo va montado sobre trípode y se mide del mismo modo que se realizó para la observación de la red. El equipo móvil se monta sobre bastón. En el caso de Leica esta altura es de 2,0 m, y se mantiene fija para todos los puntos.

2.2.4 Medición

Mientras se dejó un receptor GPS fijo montado sobre trípode midiendo sobre cada una de las bases se utilizó el otro receptor, montado sobre jalón, para observar una nube de puntos en la zona cercana a la base correspondiente.

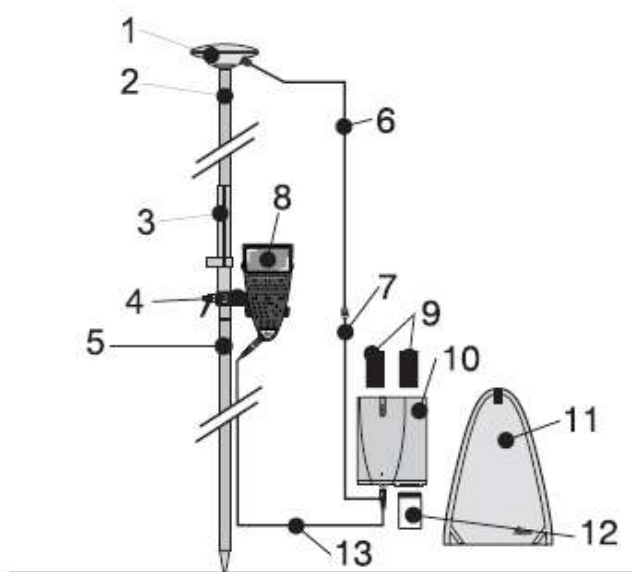


Fig. 2.6 Montaje de GPS sobre jalón

Los puntos se daban cada varios metros, variando esta distancia en función de la forma del terreno. A mayores irregularidades y desniveles existentes en el terreno mayor debe ser la densidad de puntos.

La zona que se observó fue de una franja de unos 60 m en la zona por donde se va a diseñar la carretera, dando una superficie mayor en los enlaces de principio y final. La superficie total es de aproximadamente 9,6 Ha. Esto último se debe a que estas zonas contienen una glorieta cada una y esto requiere una superficie mayor.



Para disponer de una comprobación se dieron puntos comunes o, al menos, cercanos en las zonas de solape entre distintas mediciones. Esto permitiría detectar errores groseros en el ajuste, especialmente en altimetría.

Además de los puntos medidos para crear la superficie se midieron los elementos existentes en la zona tales como árboles, vallas o límites de calzada y acera. También se dieron puntos en las vaguadas y divisorias, que en el cálculo se utilizarán como líneas de ruptura. Todos estos puntos representativos se anotaron con una denominación diferente con la finalidad de poder diferenciar los datos una vez en gabinete.

Al igual que en el levantamiento, se anotó la fecha y el intervalo de horas en cada base. También se tuvo en cuenta la altura de la antena sobre trípode y su forma de medición.

El tiempo empleado para esta parte del proyecto ha sido de 4 días.

2.3. NIVELACIÓN

2.3.1 Introducción

Con la medición de la red mediante GPS se obtienen coordenadas tanto planimétricas como altimétricas. En el caso de las altimétricas la precisión es menor, por lo que se hace necesario buscar otro método de medición diferente. Mediante la nivelación se pretende resolver este problema. En este proceso se observan los desniveles entre las bases y lleva una cota oficial al proyecto.

De los métodos existentes para determinar el desnivel entre dos o más puntos el más apropiado por su precisión es la nivelación geométrica. Dado que también se disponían de las mediciones por GPS, se ha realizado una comparación entre las soluciones obtenidas por ambos métodos.

2.3.2 Fundamentos teóricos

Previamente a la explicación sobre qué es y cómo se lleva a cabo la nivelación es necesario conocer los conceptos de altitud elipsoidal, altitud ortométrica y ondulación del geoide.

La altura elipsoidal (h) es la que se mide sobre la normal al elipsoide de referencia y respecto a esta. La medición GPS usa esta altura ya que mide sobre el elipsoide de referencia, que en su caso es WGS84.

La altura ortométrica (H) es la medida sobre la normal al geoide y se suele referir al nivel del mar, siendo el datum diferente para cada país. En el caso de España se mide sobre el nivel medio del mar en Alicante medido entre los años 1870 y 1882. En una nivelación geométrica se utilizan estas alturas por el motivo de que la normal al geoide coincide con la línea de plomada. Esta línea no es una línea recta debido a que la dirección de la gravedad varía dependiendo de las características de la densidad local.

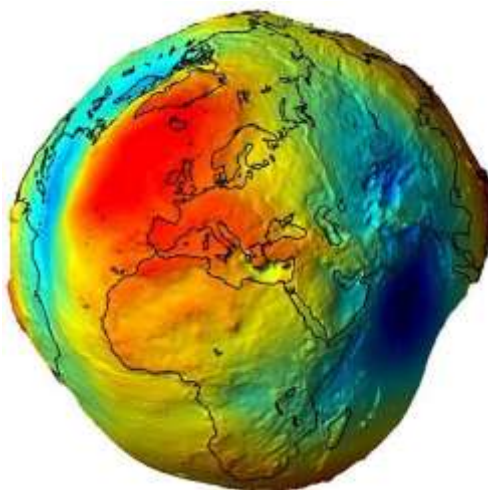


Fig. 2.7 Representación del geoide

Como las alturas medidas con GPS son elipsoidales y se quiere trabajar en un sistema de cota ortométrica oficial se hace necesario realizar una conversión de un sistema a otro.

Dado que el elipsoide es una superficie arbitraria regular basada en un modelo matemático mientras el geoide es una superficie irregular, física y real hay una diferencia entre ambas altitudes diferente para cada punto de la superficie. Esta diferencia se conoce como ondulación del geoide (N) y se puede obtener restando la altura ortométrica a la altura elipsoidal.

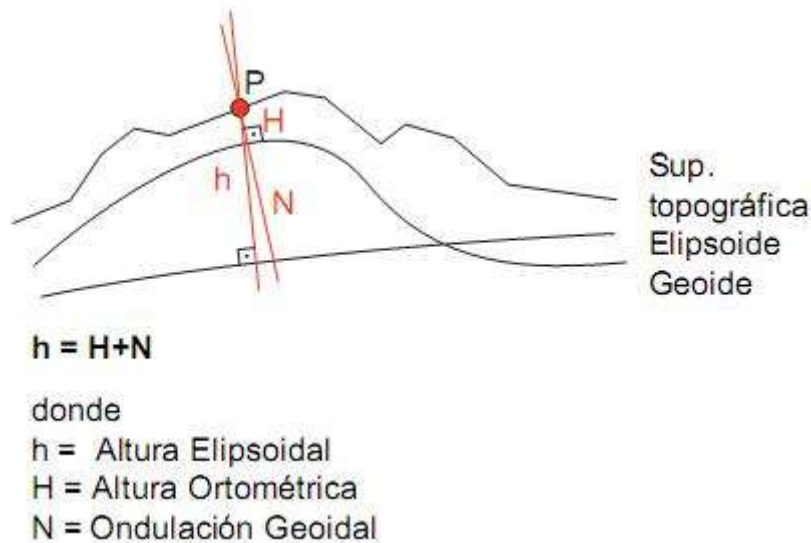


Fig. 2.8 Ondulación del geoide

La determinación del desnivel entre dos puntos se puede resolver de tres formas, que son nivelación geométrica, trigonométrica y barométrica. La utilizada en el proyecto es la geométrica, que en teoría es la más precisa de las tres.

En la nivelación geométrica, para determinar el desnivel entre dos puntos se estaciona entre ellos un nivel o equialtímetro y se sitúa una mira graduada en cada uno de los puntos. El instrumento dirige una visual horizontal a cada mira y obtiene dos lecturas. Por diferencia de lecturas se obtiene el desnivel entre los dos puntos considerados. A esto se le llama nivelación simple, y requiere que se pueda observar sobre ambas miras y que la distancia no supere los 100 m.

Si en este proceso de observación entre dos puntos se coloca el nivel en un punto equidistante a las dos miras, los errores procedentes del nivel en la observación se compensan.

Por otro lado, para conocer el desnivel entre dos puntos que están alejados no se puede realizar una nivelación simple, por lo que se hace necesario realizar otro método, que es la nivelación compuesta.

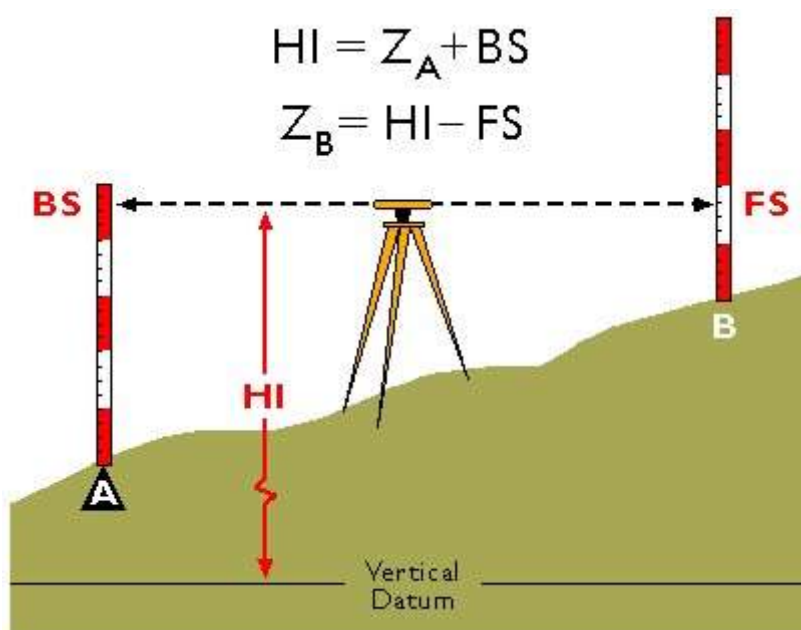


Fig. 2.9 Esquema la nivelación geométrica

En la nivelación compuesta se observa el desnivel desde el primer punto hasta un punto cualquiera. Desde este último punto se observa a un nuevo punto, y así sucesivamente hasta llegar al punto final del que se quiere conocer el desnivel. El desnivel total será el resultado de restar la suma de todas las miras de frente a la suma de todas las miras de espalda.

Para poder controlar la bondad de la observación se puede realizar un itinerario de ida y otro de vuelta o realizarla entre dos puntos de cota conocida. Considerando que no se disponían de dos puntos de cota conocida se ha optado por la primera opción. La suma de los desniveles de ida y vuelta debe ser igual a cero más el error cometido. Hay que tener en cuenta que se realiza la suma porque la ida

y la vuelta tendrán el signo opuesto. Adicionalmente, se colocan cada cierto número de puntos de paso puntos fijos en los que se pasa tanto en ida como en vuelta. LA colocación ideal de estos puntos es cada 8 o 10 puntos de paso. Con ellos se crean anillos en los que también se controla la bondad de la observación en ese tramo. En caso de que solo fallase uno de estos anillos tan solo haría falta repetir las observaciones en él y no habría problema para encontrar los puntos de inicio y final exactos.

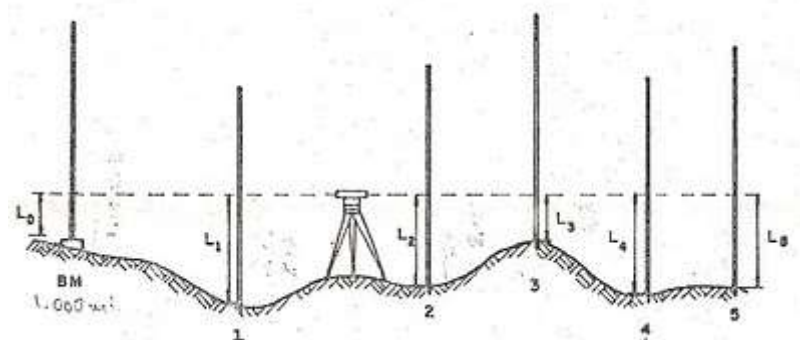


Fig. 2.10 Esquema de una nivelación compuesta

En el caso del proyecto se han usado las bases como puntos de control de cierre de anillos, teniendo en cuenta que sus distancias no son excesivamente largas como para requerir la introducción de puntos de control intermedios.

2.3.3 Material utilizado

El nivel que se ha utilizado es un nivel electrónico, ya que tiene mejor precisión y disminuye el tiempo que lleva observar una nivelación. El modelo de nivel utilizado es el SPRINTER 100M de Leica. Sus características técnicas son las expuestas a continuación:



Datos técnicos	LEICA SPRINTER 100/100M	LEICA SPRINTER 200/200M
Precisión en alturas Mediciones electrónicas con la mira de aluminio LEICA SPRINTER	Desviación típica en medición de altura por 1 km de nivelación doble (ISO 17123-2) 2.0 mm	
Precisión en distancias Mediciones electrónicas con la mira de aluminio LEICA SPRINTER	Desviación típica de una medición de distancia 10 mm para $D \leq 10$ m y (distancia en m \times 0.001) para $D > 10$ m	
Alcance Mediciones electrónicas	2 m – 80 m (desde 0.5 m – óptica)	
Modos de medición	Sencillo y Tracking	
Tiempo para una medición	<3 seg*	
Compensador	Amortiguación magnética	
Rango de trabajo	$\pm 10'$	
Precisión de estabilización	0.8"	
Programas de medición	Medir, Medir y Registrar (versión M), Altura de la mira y distancia, Diferencia de alturas, Compensación	
Almacenamiento de datos Memoria interna	500 mediciones (sólo versión M)	
Operaciones en línea	Formato GSI vía RS232 (sólo versión M)	
Capacidad del sistema	Reconocimiento automático de la mira invertida o normal Función de desconexión automática para ahorrar energía Unidades (m; pie int; pie USA; 1/8 de pulgada) Gestión de datos integrada/Capacidad de tratamiento (versión M)	
Sensibilidad al medir	Luz visible, iluminación artificial, luz tenue a 20 lux	
Condiciones ambientales Polvo/Agua	IP55	
Alimentación	Pilas secas AA (4xLR6/AA/AM3 1.5 V)	
Peso	<2.5 kg	

* Para distancias de hasta 80 m realizadas en condiciones normales de luz

Como material auxiliar se ha utilizado trípode, mira electrónica y zócalo. Las observaciones se han anotado en papel.



2.3.4 Nivelación entre bases

2.3.4.1 Tolerancias

El error en un nivel viene definido por dos parámetros, que son el error de horizontalidad y el error de puntería.

El error de horizontalidad en un nivel automático depende únicamente de la precisión del compensador, por lo que:

$$e_h = C_{pv} = 0,8'' = 2,5^{cc}$$

Siendo:

- e_h : error de horizontalidad

- C_{pv} : precisión del compensador

El error de puntería está definido por la siguiente fórmula:

$$e_p = \frac{50''}{A} \left(1 + \frac{4A}{100} \right) = \frac{50''}{24} \left(1 + \frac{4 \cdot 24}{100} \right) = 12,6^{cc}$$

- A : número de aumentos

El error del aparato es la composición cuadrática de estos dos errores:

$$e_n = \sqrt{e_h^2 + e_p^2} = 12,84^{cc}$$

El error de nivelada (e_l) será el error del nivel (e_n) multiplicado por la distancia media de nivelada (70 m):

$$e_l = e_n \cdot D_m = 12,84^{cc} \cdot 70000mm = 1,41 mm$$

El error kilométrico (e_K) es el error de nivelada por la raíz cuadrada de 1000 m entre la distancia media de nivelada:



$$e_k = e_l \sqrt{\frac{1000}{D_m}} = 1,41mm \sqrt{\frac{1000m}{70m}} = 5,34 mm$$

Finalmente el error para la nivelación es el error kilométrico por el número de kilómetros de la nivelación.

2.3.4.2 Resultados

Los desniveles obtenidos en cada anillo, junto con las discrepancias y tolerancias son los siguientes:

Anillo	ΔH Ida	ΔH Vuelta	ΔH Medio	Diferencia	Tolerancia	
1001-1002	-5,624 m	5,628 m	-5,626 m	0,004 m	0,005 m	Cumple
1002-1003	-10,851 m	10,854 m	-10,853 m	0,003 m	0,005 m	Cumple
1003-1004	-4,389 m	4,387 m	-4,388 m	0,002 m	0,004 m	Cumple
1004-1005	0,092 m	-0,09 m	0,091 m	0,002 m	0,003 m	Cumple
1005-1006	21,272 m	-21,278 m	21,275 m	0,005 m	0,005 m	Cumple
Total	0,500 m	-0,499 m	0,500 m	0,001 m	0,010 m	Cumple

Tabla 1

Los estadillos con todas las observaciones están en el apartado de anexos.

2.3.5 Obtención de cota oficial

A pesar de que en el anteproyecto se planeó realizar una nivelación geométrica a partir de un calvo de nivelación, una vez en campo se vio que esto no era posible debido a que todos los clavos cercanos estaban situados junto a la autovía, muchos de ellos en la mediana, y a cada lado de esta estaba vallado, lo que impedía realizar la nivelación.

La solución adoptada fue la de llevar la cota obtenida por GPS, utilizando la cota del vértice ROI utilizado en la observación de la red. Este proceso se realizó en gabinete con los datos que ya se tenían y un modelo del geoide.

3. CARTOGRAFÍA BASE

3.1. AJUSTE DE LA RED GPS

El ajuste de los datos se llevó a cabo utilizando el programa Leica GeoOffice.

Para poder ajustar la red es necesario, a parte de las observaciones ya realizadas, la descarga de los datos de alguna antena GPS permanente. Para ello se ha descargado la información de dos de estas antenas en los intervalos de tiempo en los que se realizaron las observaciones. Estas dos antenas utilizadas son la antena fija LEGA, de Leganés, perteneciente a la red IBEREF de Leica, y la antena IGNE, situada en la sede central del IGN en Madrid y perteneciente a la red de estaciones GNSS fijas del IGN.

La elección se basa en la búsqueda de una antena fija (LEGA) que fuera la más cercana conocida a la zona y otra cercana a esta (IGNE) para comprobar la primera antena. Esta comprobación se ha realizado midiendo la 2ª antena (IGNE) desde la 1ª antena (LEGA) y observando que no había mucha diferencia respecto a las coordenadas conocidas.

Tras esta comprobación se han ajustado las coordenadas de la antena colocada en el vértice ROI desde la antena de Leganés. Estas dan una diferencia de unos 5 cm a las expuestas en la reseña. Esto se debe a que las coordenadas de la reseña han variado desde el momento en que se ajustó por última vez, siendo las coordenadas buenas las obtenidas por GPS, ya que se ha visto en la comprobación con la otra estación permanente que no variaba más de algún milímetro.

	E	N	
GPS	422919,395 m	4461962,125 m	
Reseña	422919,437 m	4461962,144 m	Total
Diferencia	0,042 m	0,019 m	0,046 m

Tabla 2



Fig. 3.1 Ajuste de Guardia Civil desde LEGA

Por último se han ajustado las bases. Este ajuste se ha realizado utilizando como antenas fijas la utilizada en el vértice ROI (Guardia Civil) y la antena LEGA.

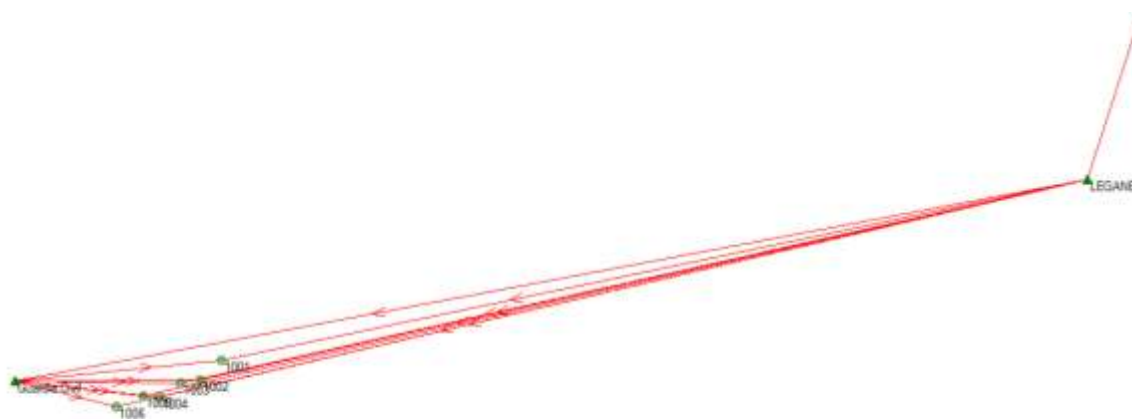


Fig. 3.2 y 3.3 Ajuste de la red en Leica GeoOffice

El resultado se ve en la tabla 3.

	E				N					
1001	425356,606	m	±	0,005	m	4462208,560	m	±	0,001	m
1002	425099,338	m	±	0,001	m	4461972,884	m	±	0,004	m
1003	424869,628	m	±	0,003	m	4461942,163	m	±	0,006	m
1004	424617,632	m	±	0,003	m	4461779,918	m	±	0,010	m
1005	424423,045	m	±	0,004	m	4461793,330	m	±	0,010	m
1006	424113,500	m	±	0,003	m	4461659,054	m	±	0,013	m

Tabla 3

Solo se ha descrito la obtención de las coordenadas planimétricas, ya que la altimetría está descrita en el siguiente apartado. Los informes del ajuste se encuentran en la sección de anexos.

3.2. ALTIMETRÍA

3.2.1 Nivelación por GPS

La nivelación por GPS se ha realizado para transmitir una cota oficial a las bases, ya que como se vio no fue posible la obtención de esta cota oficial por nivelación geométrica. Se ha utilizado la cota del vértice ROI Guardia Civil para el cálculo. Se ha ajustado la altura elipsoidal de las bases desde el vértice ROI de la misma forma que el ajuste planimétrico de GPS. Posteriormente se ha aplicado el modelo del geoide mundial EGM2008 del National Geospatial Intelligence Agency adaptado al sistema de referencia vertical oficial en España (REDNAP) descargado desde la página del IGN para obtener las alturas ortométricas de las bases. Las alturas ortométricas obtenidas tras el ajuste son las siguientes:

	H				
1001	653,844	m	±	0,005	m
1002	648,239	m	±	0,004	m
1003	637,386	m	±	0,012	m
1004	632,992	m	±	0,017	m
1005	633,105	m	±	0,018	m
1006	654,358	m	±	0,019	m

Tabla 4



3.2.2 Desniveles por nivelación geométrica

Los resultados de la nivelación con sus diferencias entre anillos y las tolerancias están ya descritos en el apartado 2.3.4. *Nivelación entre bases*. Los desniveles obtenidos entre bases en la nivelación geométrica son los siguientes:

	ΔH	
1001-1002	-5,626	m
1002-1003	-10,852	m
1003-1004	-4,388	m
1004-1005	0,091	m
1005-1006	21,275	m

Tabla 5

3.2.3 Resultado final

Se ha empezado comparando los desniveles obtenidos por nivelación GPS con los desniveles obtenidos por nivelación geométrica. El resultado aparece en la tabla 6.

	ΔH GPS		ΔH Geom.		Diferencia	
1001-1002	-5,605	m	-5,626	m	0,021	m
1002-1003	-10,853	m	-10,852	m	0,001	m
1003-1004	-4,393	m	-4,388	m	0,005	m
1004-1005	0,113	m	0,091	m	0,022	m
1005-1006	21,255	m	21,275	m	0,020	m

Tabla 6

Como se puede observar en la tabla, la diferencia entre los desniveles obtenidos por ambos métodos no es muy grande, lo que se indica que no se tiene ningún error grosero en ninguna de los desniveles obtenidos. Para transmitir la altura ortométrica se ha seleccionado una de las bases (1003) en la que se ha aplicado directamente la cota obtenida por GPS. La cota en el resto de bases se ha calculado a partir de esta base y utilizando los desniveles obtenidos mediante nivelación geométrica por ser esta más precisa. El resultado final se encuentra en la tabla 7.

	H			
1001	653,865	m ±	0,013	m
1002	648,238	m ±	0,012	m
1003	637,386	m ±	0,012	m
1004	632,998	m ±	0,012	m
1005	633,089	m ±	0,012	m
1006	654,364	m ±	0,013	m

Tabla 7

Como conclusión de esta comparación se deduce que para nivelaciones en las que no se necesite una precisión muy alta se puede sustituir perfectamente la nivelación geométrica por nivelación GPS, ya que no da unas diferencias muy grandes y significa un ahorro de tiempo y de medios.

3.3. AJUSTE DEL LEVANTAMIENTO

Para el ajuste de la nube de puntos se han utilizado las coordenadas ajustadas de las bases, lo que se ha explicado en los apartados anteriores. Las coordenadas finales son las que se observan en la tabla 8.

	E				N				H			
1001	425356,606	m ±	0,005	m	4462208,560	m ±	0,001	m	653,865	m ±	0,013	m
1002	425099,338	m ±	0,001	m	4461972,884	m ±	0,004	m	648,238	m ±	0,013	m
1003	424869,628	m ±	0,003	m	4461942,163	m ±	0,006	m	637,386	m ±	0,012	m
1004	424617,632	m ±	0,003	m	4461779,918	m ±	0,010	m	632,998	m ±	0,012	m
1005	424423,045	m ±	0,004	m	4461793,330	m ±	0,010	m	633,089	m ±	0,012	m
1006	424113,500	m ±	0,003	m	4461659,054	m ±	0,013	m	654,364	m ±	0,013	m

Tabla 8

El ajuste, realizado mediante el programa Leica GeoOffice, consiste en el cambio de las coordenadas de los puntos desde los que está referida la nube de puntos. Dado que los puntos son las bases y ya se conocen sus coordenadas ajustadas (Tabla 8) no presenta mayor problema. Una vez cambiadas estas coordenadas se ajusta toda la nube de puntos ya que todos ellos están referidos a las bases.

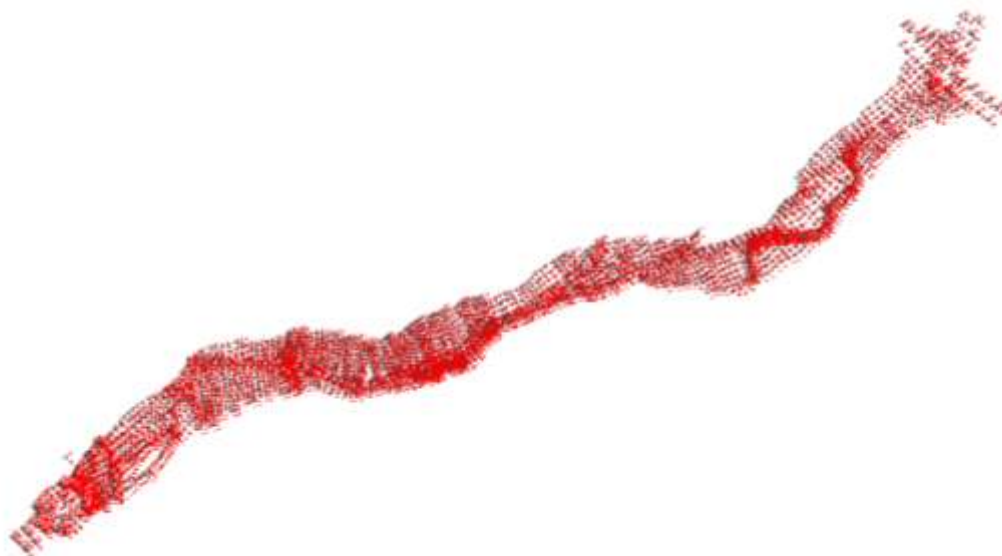


Fig.3.4 Nube de puntos

Teniendo toda la nube de puntos ajustada ya se dispone de los datos necesarios para la cartografía. Estos puntos se exportaron a un tipo de archivo que permita la edición tridimensional de los datos, en este caso archivo .dxf que permite trabajar en AutoCAD.

3.4. CURVADO

3.4.1 Modelo digital del terreno

Una de los elementos más importantes de la cartografía son las curvas de nivel y, para poder crearlas, es necesario definir previamente un modelo digital del terreno (MDT).

El MDT es una representación tridimensional de la superficie de un terreno creada a partir de los datos de altitud de un terreno. Se puede expresar con la función:

$$Z = f(x, y)$$

El MDT puede incluir líneas de ruptura. Estas son líneas que definen los cambios bruscos de pendiente. Se suelen usar para definir vaguadas y divisorias.

Hay dos tipos de MDT, que son el de malla de triángulos irregulares (TIN) y de malla regular (GRID). El segundo tipo usa puntos interpolados, lo que crea una estructura menos precisa, y es más adecuado de cara a la visualización del modelo. Estas características no se corresponden con el uso que se pretende dar al modelo, por lo que se ha utilizado el otro modelo.

El modelo de triángulos irregulares conecta los puntos medidos mediante una red de triángulos. Es una estructura más precisa y veraz que la malla regular, pero también tiene una mayor complejidad en el manejo y su visualización es menos adecuada. Se considera este tipo de modelo como el más adecuado para los trabajos de ingeniería por ser el más preciso.

La triangulación utiliza el algoritmo de Delaunay, el cual genera los triángulos lo más equiláteros posibles y evita que dentro de la circunferencia descrita por tres puntos vecinos no se encuentre ningún otro punto. La triangulación será siempre la misma independientemente del punto de comienzo. En el caso de haber líneas de ruptura, estas se usan como parte de lados de triángulos.

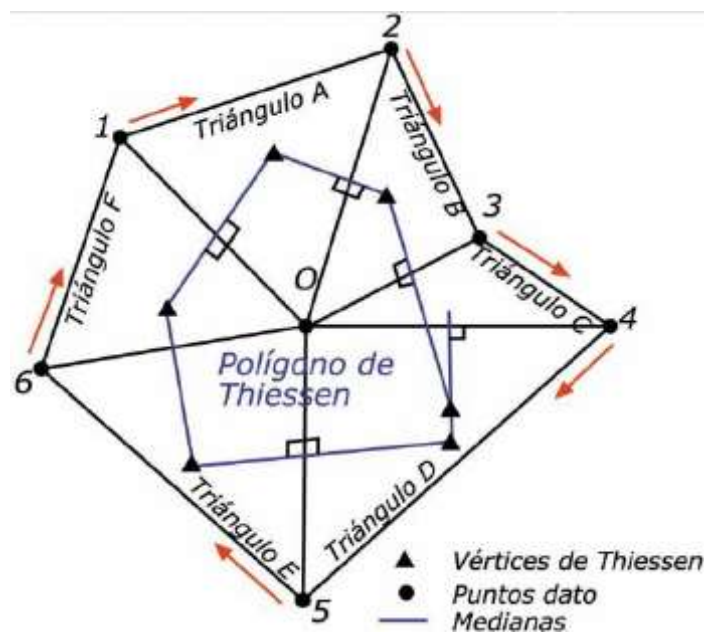


Fig. 3.5 Triangulación de Delaunay

El modelo se ha generado con el programa MDTop de Digi21.

Al definir el MDT se ha fijado la distancia máxima entre puntos para crear los triángulos en 45 m, ya que tras realizar varias pruebas era el valor que mejor resultados ofrecía.



Fig. 3.6 Modelo digital del terreno en perspectiva

Finalmente, se han eliminado aquellos triángulos que pudiesen crear extraños en las curvas de nivel. Esto ocurre principalmente en las zonas exteriores.

3.4.2 Curvado

La representación del relieve en cartografía se suele realizar mediante curvas de nivel, siendo estas líneas que unen puntos de la misma altitud. Existen dos tipos de curvas, que son las normales y las maestras. Las curvas normales se sitúan distanciadas entre sí la equidistancia seleccionada. Las curvas maestras se dibujan cada cierta cantidad de curvas normales. Estas últimas se rotulan más gruesas habitualmente y marcan la altitud de forma numérica.

El uso de curvas de nivel presenta una aproximación de la realidad en la que se resuelve el problema de pasar de las tres dimensiones del terreno a las dos del plano.

Con el MDT ya calculado se han dibujado las curvas de nivel. Estas se han definido cada medio metro, y las curvas maestras cada 5 m. También se ha realizado un suavizado mediante spline cúbicos, que era la opción que mejor resultados ofrecía.



Fig. 3.7 Curvado



3.5. DISEÑO DE LA CARTOGRAFÍA

Con el diseño de la cartografía se pretende determinar y representar cada uno de los elementos existentes en la realidad. Esto depende de la escala, ya que los elementos que tienen una dimensión que, al representarlos a la escala que se pretende, son menores al límite de percepción visual no se dibujan ya que no son visibles.

Dentro de la cartografía existen elementos puntuales, lineales, superficiales y símbolos.

Los elementos puntuales existentes en el proyecto son los puntos de relleno. Estos se han utilizado para la formación del modelo. Tras esto se han mantenido algunos de ellos como información complementaria a las curvas de nivel.

Los elementos lineales son las curvas de nivel y los límites de elementos, que en este caso son aceras, calzadas, aparcamientos, camino, muros y vallas. Para la formación del MDT también se dibujaron líneas de ruptura.

Los símbolos se utilizan para transmitir información sobre elementos de forma que sean más reconocibles para el lector.

El software empleado para la edición de la cartografía ha sido AutoCAD. En esta parte del proyecto solo se han representado aquellos que pudiesen tener relevancia para el diseño del vial en CLIP, por lo que no se han introducido símbolos y no se han utilizado los colores definitivos.



4. DISEÑO Y AJUSTE DEL VIAL

4.1. INTRODUCCIÓN

Con la cartografía ya obtenida, el siguiente paso es la planificación del vial sobre ella, definiendo todos los elementos para su diseño.

El trazado del proyecto se compone de dos partes, que son el vial que une los dos extremos de la zona y la rotonda, que se coloca en la zona norte del vial. Junto con estos ejes se han tenido que diseñar los diferentes enlaces entre ellos. Estos enlaces son los que tiene el vial en ambas rotondas y los que tiene la nueva rotonda con las vías ya existentes en la intersección.

La elección del tipo de carretera se hace en función de las condiciones topográficas y del entorno, las consideraciones ambientales, la consideración de la vía dentro del sistema de transporte, la homogeneidad del itinerario o trayecto, las condiciones económicas y las distancias entre accesos y el tipo de los mismos. Por ello, el tipo de carretera por el que se ha optado para el proyecto es una C-60 en el caso del nuevo vial y urbano en el caso de la rotonda nueva.

4.2. GEOMETRÍA DEL VIAL

4.2.1 Planta

4.2.1.1 Introducción

El diseño en el trazado de carreteras en España está sujeto a la Norma 3.1-IC, sobre trazado de carreteras. En consecuencia, este proyecto se ha realizado respetando dicha norma.

La planta es la que define el trazado en planimetría, separándose así de la cota, que se define en el trazado en alzado.



Las carreteras están compuestas por tres elementos en planta, que son rectas, curvas circulares y curvas de transición.

4.2.1.2 Rectas

Las rectas es un elemento de trazado que está indicado en carreteras de dos carriles para obtener suficientes oportunidades de adelantamiento y en cualquier tipo de carretera para adaptarse a condicionamientos externos obligados (infraestructuras preexistentes, condiciones urbanísticas, terrenos llanos, etc).

Para evitar problemas relacionados con el cansancio, deslumbramientos, excesos de velocidad, etc; es deseable limitar las longitudes máximas de las alineaciones rectas y para que se produzca una acomodación y adaptación a la conducción es deseable establecer unas longitudes mínimas de las alineaciones rectas.

En el caso de C-60 **los valores de longitud mínima y máxima son 1002 m y 83 m (167 m para alineaciones situadas entre curvas con radios de curvatura en el mismo sentido)** respectivamente.

4.2.1.3 Curvas circulares

Para este elemento, la normativa establece que fijada una velocidad de proyecto, el radio mínimo a adoptar en las curvas circulares, se determina en función del peralte y el rozamiento transversal movilizado, la visibilidad de parada en toda su longitud y la coordinación del trazado en planta y alzado, especialmente para evitar pérdidas de trazado. La velocidad, el radio, el peralte y el coeficiente de rozamiento transversal movilizado se relacionarán mediante la fórmula:



$$V^2 = 127 \cdot R \cdot (f_t + p/100)$$

Siendo:

- . V= velocidad (km/h)
- . R= radio de la circunferencia (m)
- . f = coeficiente de rozamiento transversal movilizado
- . p = peralte (%)

En una C-60, **el radio mínimo** resulta de **130 m**.

4.2.1.4 Curvas de transición

Las curvas de transición tienen por objeto evitar las discontinuidades en la curvatura de la traza, por lo que, en su diseño deberán ofrecer las mismas condiciones de seguridad, comodidad y estética que el resto de los elementos del trazado.

Se adoptará en todos los casos como curva de transición la clotoide, cuya ecuación intrínseca es:

$$R + L = A_2$$

Siendo:

R = radio de curvatura en un punto cualquiera.

L = longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R = \infty$) y el punto de radio R.

A = parámetro de la clotoide, característico de la misma.

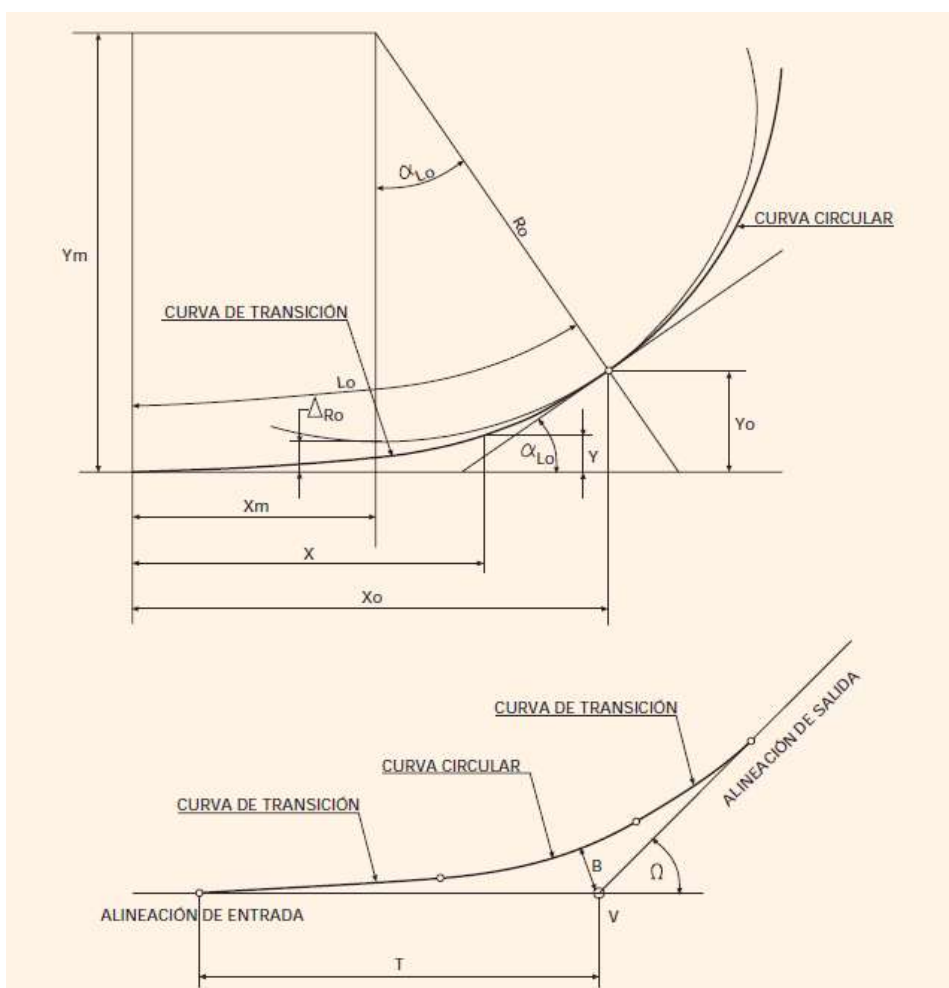


Fig. 4.1 Curva de transición

4.2.1.5 Diseño del eje

El vial diseñado se ha definido mediante cinco alineaciones rectas que se unen entre sí mediante curvas, siendo curvas circulares con curvas de transición en ambos extremos. El inicio y final de vial se produce en recta, creando intersección con las glorietas de ambas zonas. Los datos de entrada y los puntos singulares son los siguientes:

DATOS DE ENTRADA

Estación inicial 0+000,000

Al.	Tipo	Radio	Retrang.	AE/AS	X1/Y1	X2/Y2
1	Fijo	Infinito			424.126,061 4.461.603,707	424.266,118 4.461.733,947
2	Móvil	150,000		90,000 90,000		
3	Fijo	Infinito			424.365,063 4.461.798,804	424.594,510 4.461.783,940
4	Móvil	-130,000		80,000 80,000		
5	Fijo	Infinito			424.661,910 4.461.813,780	424.774,652 4.461.906,416
6	Móvil	130,000		80,000 80,000		
7	Fijo	Infinito			424.875,830 4.461.941,790	425.117,249 4.461.951,127
8	Móvil	-150,000		90,000 90,000		
9	Fijo	Infinito			425.151,370 4.462.005,740	425.346,770 4.462.208,269

PUNTOS SINGULARES

Estación	Longitud	Coord. X	Coord. Y	Acimut	Radio	Parám.	X Centro	Y Centro
0+000,000	0,000	424.126,061	4.461.603,707	52,3111	Infinito			
0+197,132	197,132	424.270,422	4.461.737,949	52,3111	Infinito			
0+251,132	54,000	424.312,040	4.461.772,236	63,7703	150,000	90,000	424.392,870	4.461.645,877
0+319,200	68,068	424.375,612	4.461.794,881	92,6592	150,000		424.392,870	4.461.645,877
0+373,200	54,000	424.429,534	4.461.794,627	104,1184	Infinito	90,000		
0+491,142	117,942	424.547,229	4.461.787,003	104,1184	Infinito			
0+540,373	49,231	424.596,382	4.461.786,925	92,0640	-130,000	80,000	424.580,218	4.461.915,916
0+588,968	48,595	424.642,368	4.461.801,734	68,2669	-130,000		424.580,218	4.461.915,916
0+638,198	49,231	424.682,237	4.461.830,482	56,2126	Infinito	80,000		
0+741,224	103,025	424.761,838	4.461.895,887	56,2126	Infinito			
0+790,454	49,231	424.801,707	4.461.924,635	68,2669	130,000	80,000	424.863,857	4.461.810,453
0+825,614	35,159	424.834,472	4.461.937,089	85,4847	130,000		424.863,857	4.461.810,453
0+874,845	49,231	424.883,370	4.461.942,082	97,5391	Infinito	80,000		
1+001,981	127,136	425.010,412	4.461.946,995	97,5391	Infinito			
1+055,981	54,000	425.064,072	4.461.952,305	86,0799	-150,000	90,000	425.031,534	4.462.098,734
1+116,679	60,698	425.119,093	4.461.976,941	60,3188	-150,000		425.031,534	4.462.098,734
1+170,679	54,000	425.158,792	4.462.013,433	48,8596	Infinito	90,000		
1+441,413	270,734	425.346,770	4.462.208,269	48,8596	Infinito			

En la zona del trazado se encuentran dos edificaciones. Se ha evitado acercar demasiado el trazado a estas, siendo la distancia mínima entre el vial y las edificaciones siempre mayor a 3 metros, que es la distancia del límite de expropiación.

Dentro de lo posible se ha seguido el trazado del camino, aunque no se ha podido cumplir totalmente su trazado debido a que la cantidad de curvas que tiene y sus radios impedirían cumplir la norma.

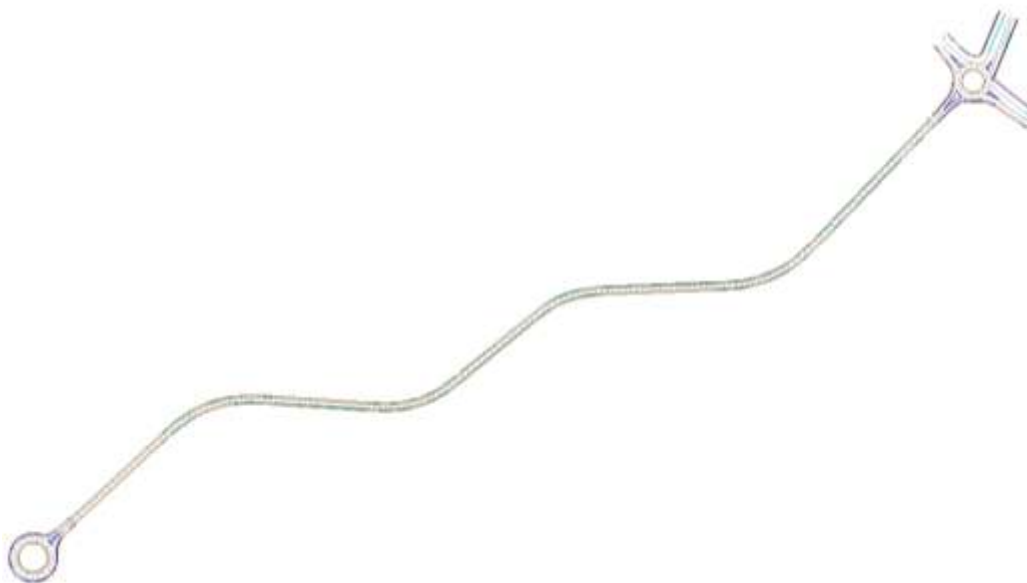


Fig. 4.2 Trazado en planta

4.2.2 Alzado

El criterio utilizado para definir la rasante ha sido el de tener un volumen de excavación y volumen de relleno similares. Además se ha intentado minimizar ambos y no introducir un excesivo número de vértices.

Por otra parte se ha seguido la norma 3.1-IC. Esta define las **pendientes máximas**, que son del **6%** para C-60, y el parámetro mínimo para acuerdos verticales.

Los acuerdos verticales son curvas que unen zonas de pendiente con distinto sentido. Esta curva es una parábola de eje vertical, de ecuación:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot K_v}$$

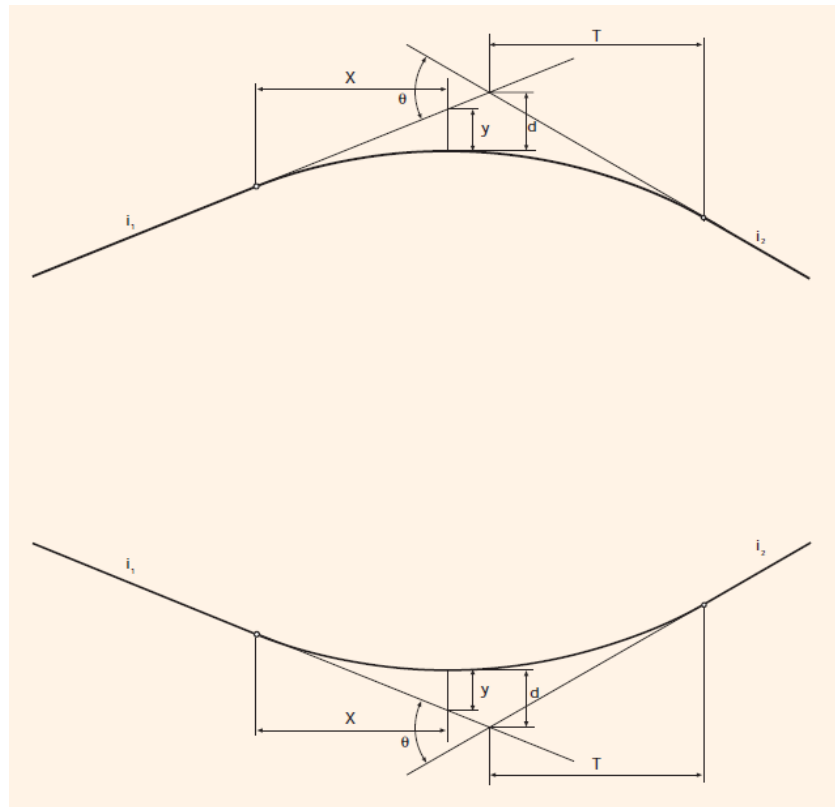


Fig. 4.3 Acuerdo vertical

Siendo K_v el radio de la circunferencia osculatriz en el vértice de dicha parábola, denominado comúnmente «parámetro». Definiendo θ como el valor absoluto de la diferencia algebraica de las inclinaciones en los extremos del acuerdo en tanto por uno, se cumplirá que:

$$K_v = \frac{L}{\theta}$$

Siendo L la longitud de la curva de acuerdo y $T = \frac{L}{2}$

Los parámetros de acuerdos verticales según la norma se observan en la figura 4.4.

V_p (km/h)	MÍNIMO		DESEABLE	
	K_v CONVEXO (m)	K_v CÓNCAVO (m)	K_v CONVEXO (m)	K_v CÓNCAVO (m)
120	15276	6685	30780	9801
100	7125	4348	15276	6685
80	3050	2636	7125	4348
60	1085	1374	3050	2636
40	303	568	1085	1374

Fig. 4.4 Acuerdos verticales según la norma 3.1-IC

Se utilizan los datos correspondientes a una velocidad de 60 Km/h. Se ha buscado que los acuerdos cumplieran el radio mínimo siempre, y si era posible cumplir también el mínimo deseable.

Para la definición del longitudinal se ha compensado en lo posible los movimientos de tierras para desmonte y terraplén, teniendo en cuenta que en desmonte debía ser mayor para descontar posteriormente la parte de desbroce. Esta se ha medido utilizando un grosor de 30 cm para ello. Los volúmenes de tierras se pueden ver en el anexo correspondiente, siendo los totales:

- Volumen de desmonte: 43.803 m³
- Volumen de terraplén: 42.300 m³
- Volumen de desbroce: 9.926 m³

4.2.3 Sección transversal

4.2.3.1 Sección tipo

Los elementos de la sección tipo se han definido en función de lo estipulado en la norma 3.1-IC de carreteras. Según esta los elementos de la sección transversal quedan definidos por el tipo de carretera como puede verse en la figura 29.

CLASE DE CARRETERA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)	CARRILES (m)	ARCÉN (m)		BERMAS (m)		NIVEL DE SERVICIO EN LA HORA DE PROYECTO DEL AÑO HORIZONTE
			EXTERIOR	INTERIOR	MÍNIMO	MÁXIMO ****	
De calzadas separadas	120	3,5	2,5	1,0-1,5 *	0,75	1,5	C
	100	3,5	2,5	1,0-1,5 *	0,75	1,5	D
	80	3,5	2,5	1,0	0,75	1,5	D
De calzada única	Vías rápidas	100	2,5		0,75	1,5	C
		80	2,5		0,75	1,5	D
	Carreteras convencionales	100	1,5 - 2,5		0,75	1,5	D
		80	1,5 ***		0,75 **	1,5 **	D
		60	1,0 - 1,5 ***		0,75 **	1,5 **	E
		40 IMD ≥ 2000	0,5		-	-	E
		40 IMD < 2000	0,5		-	-	E

- * El valor 1,5 se exigirá para medianas en las que, de forma continuada, la barrera esté adosada al arcén.
 - ** Para carreteras en terreno muy accidentado y con baja intensidad de tráfico (IMD < 3000) se podrá justificar la ausencia o reducción de berma.
 - *** Para carreteras en terreno muy accidentado, o con baja intensidad de tráfico (IMD < 3000) se podrá reducir de forma justificada la dimensión del arcén en 0,5 metros como máximo.
 - **** Salvo justificación en contrario (visibilidad, sistemas de contención de vehículos, etc).
- NOTA: El nivel de servicio se definirá de acuerdo con el Manual de Capacidad.

Fig. 4.5 Dimensiones de los elementos de la sección tipo en la norma 3.1-IC

En este caso los parámetros son los correspondientes a una C-60, optando por 1 m como valor de ancho arcén y 0,75 m como ancho de berma.

También se han definido las cunetas, que son zanjas longitudinales abiertas en el terreno junto a la plataforma. Se han colocado cunetas de sección triangular.

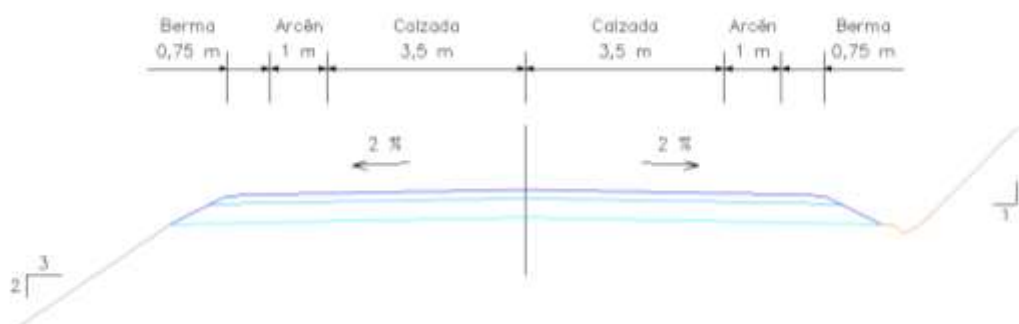


Fig. 4.6 Sección tipo utilizada en el vial

Debido a los enlaces, que se producen en zona urbana, los tramos de inicio y final del vial también tienen una sección urbana. Tanto la sección urbana como la no urbana del vial están reflejadas en el plano de sección tipo.

4.2.3.2 Firme

La decisión sobre el tipo de firme se ha basado en la Norma de Carreteras 6.1-IC, que trata sobre secciones de firmes.

Basándose en esta norma, se debe seleccionar un valor para la categoría de tráfico pesado y para el tipo de explanada, ya que en función de esto la norma dictará un tipo de firme u otro.

La categoría de tráfico pesado especifica el número de vehículos pesados que recorren una carretera por día. Estos valores están representados en la figura 4.7.

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
IMDp (vehículos pesados/día)	< 200 ≥ 100	< 100 ≥ 50	< 50 ≥ 25	< 25

Fig. 4.7 Categorías de tráfico pesado

De estos valores se ha escogido el de T32. Se ha elegido este valor debido a que la carretera comunica con un polígono industrial, por lo que es esperable que el número de vehículos pesados por día sea mayor que el de los valores más bajos pero sin ser un valor excesivamente elevado.

El tipo de explanada determina el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga. Se ha decidido un valor intermedio, que es el E2, porque no se disponen de datos que hagan preferible una opción u otra. Con estos dos parámetros se presentan las opciones presentes en la figura 4.8.

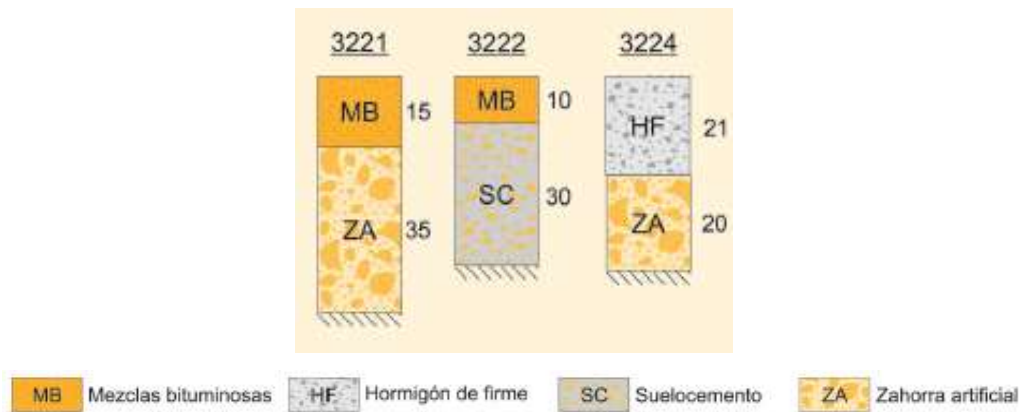


Fig. 4.8 Tipos de firme con explanada E2 y categoría de tráfico pesado T32

De estas tres opciones se ha adoptado como firme el 3221, que se compone de una capa de mezcla bituminosa de 15 cm sobre una capa de zahorra artificial de 35 cm.

4.2.4 Peraltes

En los tramos de trazado en curva actúa la fuerza centrífuga, que puede producir sobre el móvil un deslizamiento o vuelco. Para solucionar este problema se realiza el peraltado, que consiste en el cambio de la pendiente transversal de la calzada.

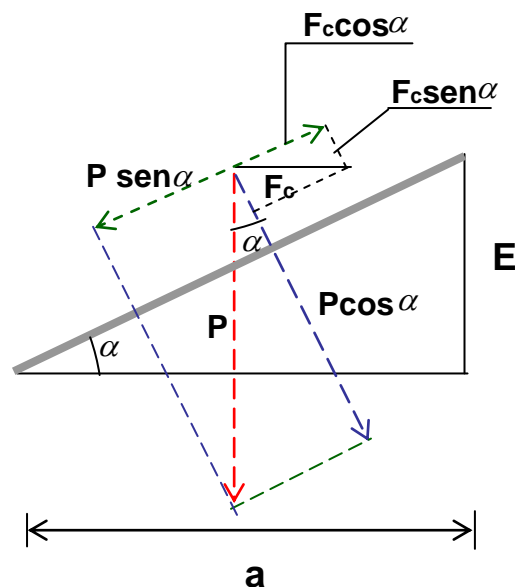


Fig. 4.9 Distribución de fuerzas en peralte

Según la norma el peralte en curvas para carreteras dentro del grupo 1 cuya velocidad específica es inferior a 90 km/h es del **7%**. En los tramos de recta siempre hay una pendiente transversal del 2% desde el eje central hacia los bordes exteriores (bombeo) con la finalidad de evacuar el agua en caso de lluvia.

Cualquier modificación en las pendientes transversales debe hacerse de forma progresiva en función de la distancia. Esto se conoce como transición al peralte.

Habiendo curva de transición, la transición al peralte se reparte entre el tramo recto anterior y dicha curva de transición, siendo el peralte constante a lo largo de toda la curva circular. La variación de la sección transversal se puede realizar manteniendo fijo como fijo el borde interior, el eje o el borde exterior.

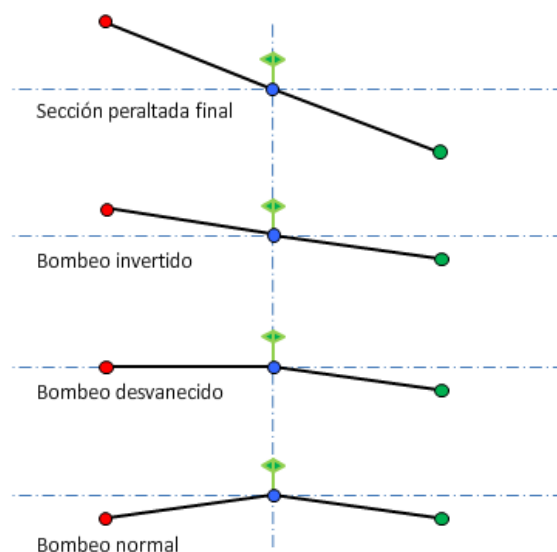


Fig. 4.10 Transición al peralte

4.3. COORDINACIÓN ENTRE PLANTA Y ALZADO

Los trazados en planta y alzado de una carretera deberán estar coordinados de forma que el usuario pueda circular por ella de manera cómoda y segura. Concretamente, se evitará que se produzcan pérdidas de trazado, definida



ésta como el efecto que sucede cuando el conductor puede ver, en un determinado instante, dos tramos de carretera, pero no puede ver otro situado entre los dos anteriores.

Para conseguir una adecuada coordinación de los trazados, para todo tipo de carretera, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

- Los puntos de tangencia de todo acuerdo vertical, en coincidencia con una curva circular, estarán situados dentro de la clotoide en planta y lo más alejados del punto de radio infinito.
- En tramos donde sea previsible la aparición de hielo, la línea de máxima pendiente será igual o menor que 10%.
- En carreteras con velocidad de proyecto igual o menor que 60 km/h y en carreteras de características reducidas, se cumplirá siempre que sea posible la condición $K_v = \frac{100 \cdot R}{P}$. Si no fuese así, el cociente $\frac{K_v}{R}$ será como mínimo 6, siendo el parámetro del acuerdo vertical (m), R el radio de la curva circular en planta (m), y p el peralte correspondiente a la curva circular (%).

Para todo tipo de carretera se evitarán las siguientes situaciones:

- Alineación única en planta (recta o curva) que contenga un acuerdo vertical cóncavo o un acuerdo vertical convexo cortos.
- Acuerdo convexo en coincidencia con un punto de inflexión en planta.
- Alineación recta en planta con acuerdos convexo y cóncavo consecutivos.
- Alineación recta seguida de curva en planta en correspondencia con acuerdos convexo y cóncavo.
- Alineación curva, de desarrollo corto, que contenga un acuerdo vertical cóncavo corto.
- Conjunto de alineaciones en planta en que se puedan percibir dos acuerdos verticales cóncavos o dos acuerdos verticales convexos simultáneamente.

4.4. INTERSECCIONES

4.4.1 Introducción

Las intersecciones son zonas en las que se encuentran dos o más carreteras y se cortan en el mismo nivel. Esto se puede resolver mediante un cruce o mediante una glorieta. En este proyecto se producen dos cruces al principio y final del vial. En ambos casos se ha resuelto la intersección mediante una rotonda.

El enlace oeste, con el Polígono Industrial Valdearenal (Arroyomolinos), se produce en una glorieta ya existente, por lo que solo ha habido que realizar los enlaces con esta.



Fig. 4.11 Zona de enlace oeste

En el enlace este, en Móstoles, el vial confluye en una intersección en T ya existente. Esta intersección se ha resuelto creando una nueva glorieta con 4 ramales. Estos ramales son los 3 ya existentes junto con el nuevo vial creado.



Fig. 4.12 Zona de enlace este



4.4.2 Glorieta

4.4.4.1 Concepto

Una glorieta es toda aquella intersección que se basa en la circulación de todos los vehículos por una calzada anular, en la que confluyen las diferentes vías, que discurre en torno a un islote central y que funciona con prioridad a los vehículos que circulan por la calzada anular.

Hay varios tipos de glorieta, que son:

- Glorietas de tamaño medio: son glorietas de un tamaño intermedio, y son las más habituales fuera de zonas centrales urbanas.
- Miniglorietas: glorietas de pequeño diámetro. Son frecuentes en áreas urbanas, de escasa superficie. Exigen velocidades muy moderadas y presentan dificultades para tráfico pesado.
- Grandes intersecciones giratorias: son intersecciones con una isleta central de gran diámetro. Presentan el problema de inducir a grandes velocidades sin aumentar sustancialmente la capacidad y ocupando una gran cantidad de suelo.
- Glorietas dobles: es un conjunto de dos glorietas, de similares dimensiones, que se sitúan contiguas y unidas por un tramo recto de vía.
- Glorietas a distinto nivel: son aquellas que se construyen directamente encima o debajo de una vía para solucionar su intersección con una vía transversal.
- Intersecciones anulares: son un tipo de intersección giratoria en las que existe una circulación doble, en los dos sentidos. Generalmente tiene miniglorietas de tres ramales frente a las vías que confluyen en ella.
- Glorietas partidas: en las que la vía principal de la intersección atraviesa el islote central.
- Glorietas semaforizadas: intersecciones con calzada circular que cuentan con un sistema de semaforización. Su función es la de mejorar el rendimiento de las glorietas congestionadas.



De todos estos tipos de glorieta se ha optado por diseñar una glorieta normal para el caso de la glorieta de nueva construcción, ya que es la que mejor se adapta al proyecto. La glorieta ya existente también es una glorieta normal.

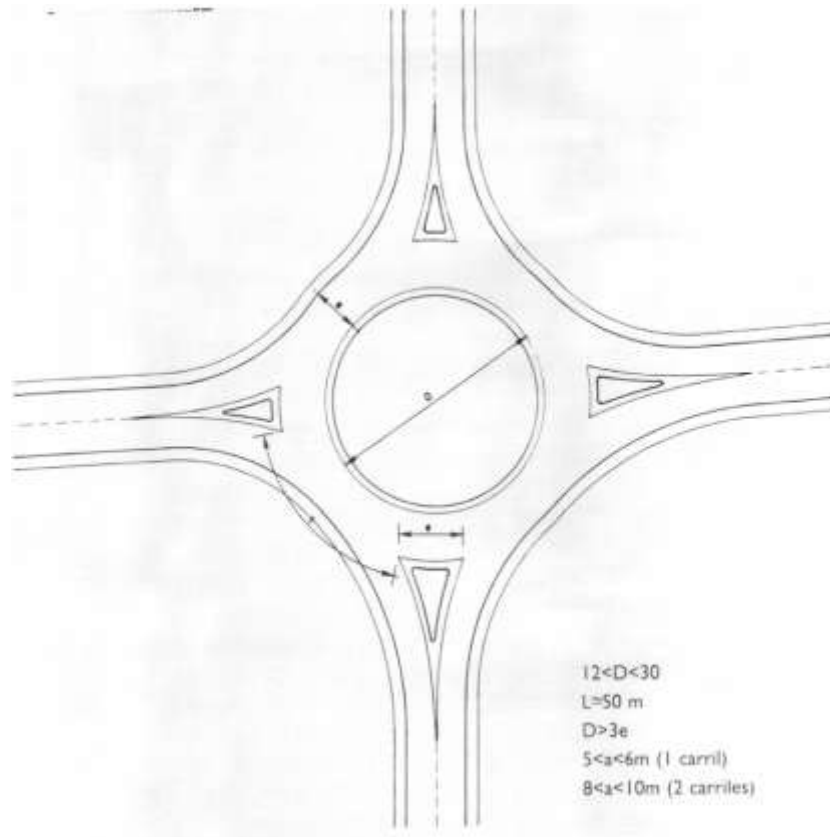
La geometría de una glorieta tiene varios parámetros, que dependen de los objetivos que se persigan con su construcción y de las características del área en el que se inscribe. Para la elección de estos parámetros se han utilizado las recomendaciones para el diseño de gloriets en carreteras suburbanas de la Comunidad de Madrid.

4.4.4.2 Planta

El islote central viene definido por su forma y su tamaño. La forma debe ser circular, aunque también se pueden realizar formas elipsoidales de baja excentricidad mientras que el radio recomendado para su tamaño es de entre 15 y 30 m.

Para la anchura de la calzada en el interior de la glorieta se recomienda entre 5 y 6 m para un carril y entre 8 y 10 m para dos carriles, aconsejando que el número de carriles coincida con el número de carriles de la entrada más ancha.

Los parámetros ya mencionados junto con otros parámetros relevantes para su definición y construcción están resumidos en las figuras 37 y 38.



$e > 12 \text{ m}$
 $e' > 12 \text{ m}$
 $5 < \beta < 10^\circ$
 $l > 10 \text{ m}$
 $15 < R < 25$
 $20 < R' < 10 \text{ m}$
 $20^\circ < \alpha < 60^\circ$
 $V = 4 \text{ m (por carril)}$
 $V' = 5 \text{ m (por carril)}$
 $V' = 9 \text{ m (dos carriles)}$

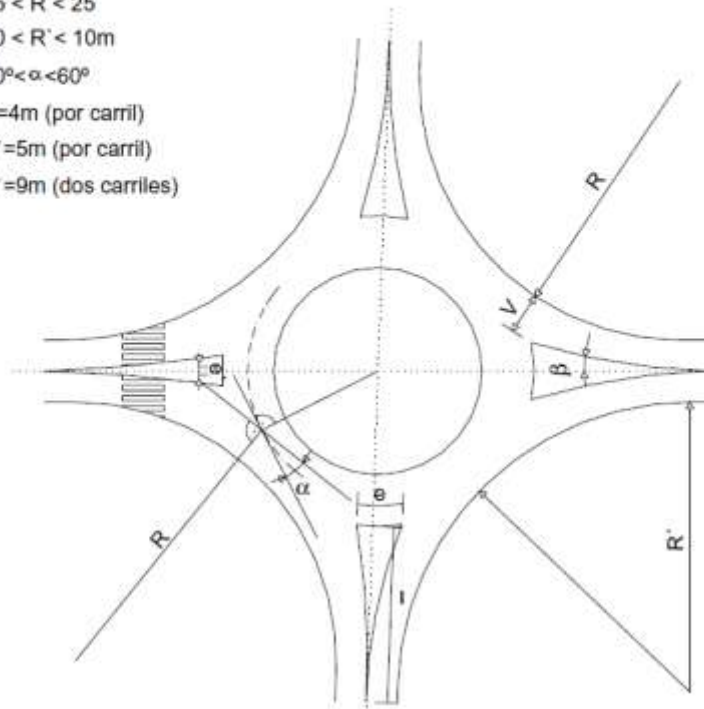


Fig. 4.13 y 4.14 Parámetros de una rotonda



La geometría de la disposición de los brazos de la glorieta debe ser los más equidistante posible. Además, está recomendado que la alineación de los ejes de las carreteras confluentes en la rotonda pase por el centro de la isleta de la misma.

4.4.4.3 Alzado

El alzado está limitado de nuevo debido a los ejes ya existentes.

El perfil longitudinal aconsejado para una glorieta es siempre inferior al 3%, evitando los cambios frecuentes de pendiente en la calzada anular.

4.4.4.4 Sección tipo

La sección tipo define el ancho de la calzada, cuyas recomendaciones ya se detallan en la sección 4.4.4.2 *Planta*. Adicionalmente se pueden incluir arcenes y/o, en el caso de vías urbanas, aceras.

El peralte en una rotonda se suele realizar hacia el exterior, al contrario de lo que se haría en una curva normal. Esto se debe a que facilita la transición de entrada de los vehículos que acceden a la rotonda y realiza el drenaje hacia el exterior de esta, ya que de otro modo habría que instalar algún sistema de recogida de aguas en el interior de la glorieta.

En calzadas de un solo carril se crea un peralte del 3% hacia el exterior. Para glorietas de dos calzadas la recomendación es que los 2/3 interiores tienen un peralte del 2% hacia el interior de la rotonda y el 1/3 restante se realiza igual que en el caso de un carril.

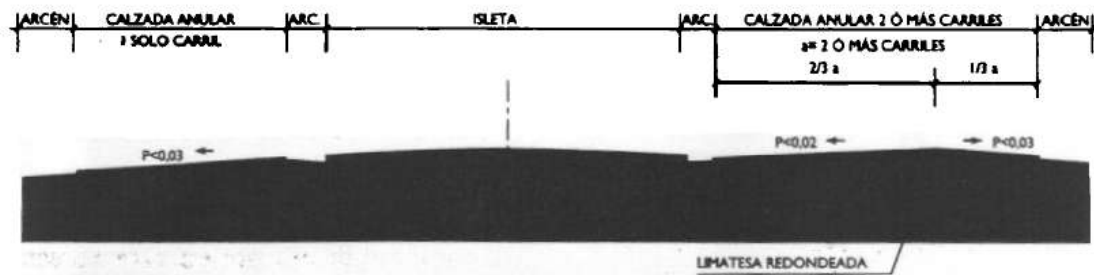


Fig. 4.15 Esquema de la sección tipo de una rotonda

4.4.4.5 Diseño de la nueva glorieta

La localización de la glorieta ha estado limitada debido a que en el área en el que se pretendía colocar había un terreno vallado perteneciente a una obra de construcción en la que se ha evitado situar la rotonda o parte de ella. Esto, junto con el hecho de que varios de los ejes de la intersección ya existían, ha impedido especialmente el hecho de colocar el centro de la isleta en el punto en el que confluyen los ejes. A pesar de todo, se ha intentado colocar lo más cercano posible a este.

El islote que se ha diseñado para la nueva glorieta dispone de un radio de 15 m y forma circular.

Esta glorieta tiene de dos carriles, teniendo en cuenta que la entrada más ancha a la glorieta tiene dos carriles. La anchura total de la calzada anular es de 9 m. No se ha definido ningún arcén y, dado que se encuentra en vía urbana, se ha colocado una acera de 2 m de ancho en el exterior y de 1m en el interior.

Posteriormente ha sido necesario ajustar cada uno de los ramales de entrada y de salida. Para ello se ha creado un eje en cada una de ellas que define el exterior del borde de calzada durante estos tramos. Se ha generado el área comprendida entre este límite, el eje de la calzada principal y el límite de la calzada secundaria. En esta región se definen estos dos últimos límites y se crea un muro para que no se genere talud en el programa. Además, se generan los peraltes de

forma que se crea una progresión desde la cota de la zona interna al eje externo de la curva.



Fig. 4.16 Intersección

Para la colocación de aceras que se encuentran entre dos vías con distinto ancho se ha realizado una progresión. Este proceso también se ha realizado en el enlace con la glorieta existente. La disposición de las marcas viales y los bordillos es la siguiente:

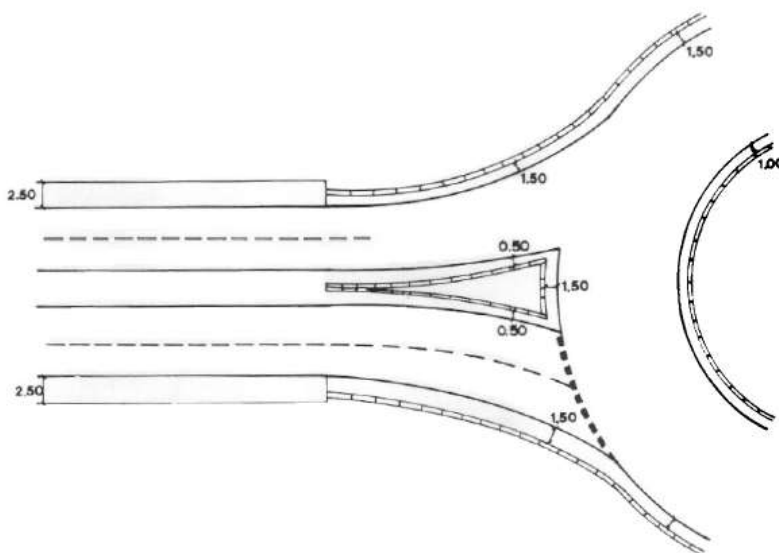


Fig. 4.17 Disposición de marcas y bordillos

La definición de la rasante también ha requerido ajustarse a los viales ya existentes. Lo que se ha hecho es definir los puntos de intersección con las tres

vías. El programa CLIP tiene una opción para calcular la rasante de una glorieta a partir de tres puntos.

A pesar de que la recomendación para el peralte en glorietas con dos o más carriles es realizar $\frac{2}{3}$ hacia un lado y $\frac{1}{3}$ hacia el otro se ha decidido por utilizar un peralte del 2% hacia el exterior para simplificarlo.

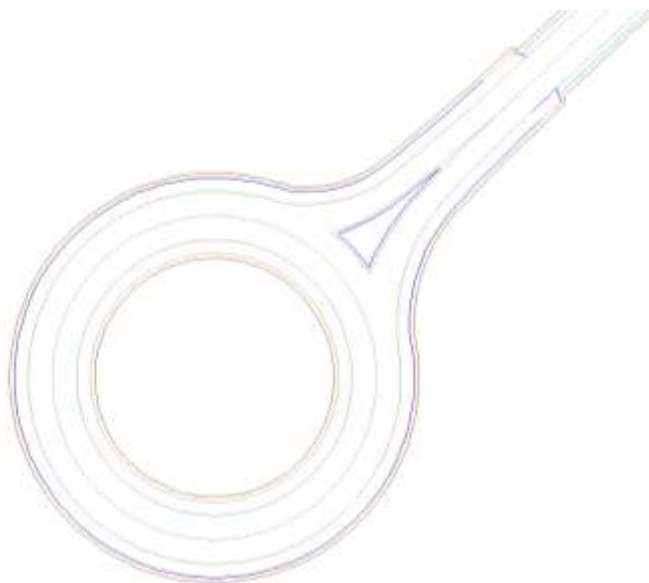


Fig. 4.18 Diseño en planta de la glorieta existente

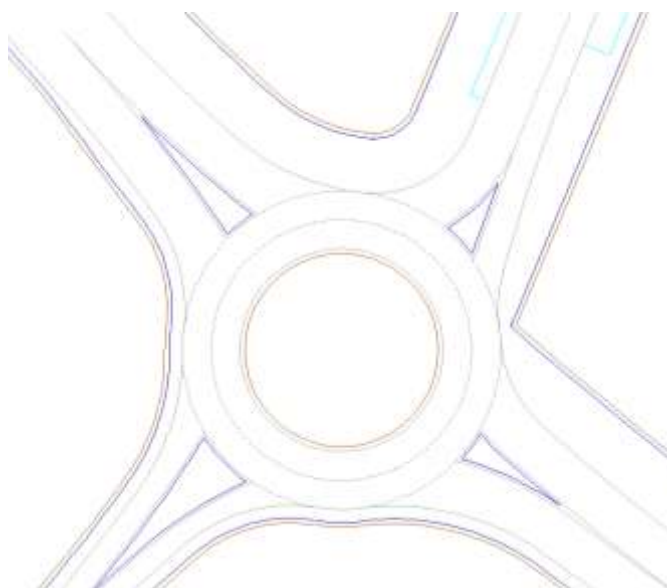


Fig. 4.19 Diseño en planta de la glorieta de nueva construcción



4.5. SERVICIOS AFECTADOS

Con el trazado del nuevo vial se deben realizar varias modificaciones en varios servicios que se ven afectados por la construcción de este. Estos servicios corresponden a las carreteras y caminos ya existentes así como las líneas eléctricas o la hidrografía existente entre otros.

Como ya se ha explicado anteriormente, el proyecto enlaza con una rotonda ya existente en su parte oeste y con una intersección en T que se pretende transformar en una glorieta. En el caso de la glorieta ya existente es necesaria la creación de un ramal de entrada y otro de salida que enlacen con el nuevo vial. En este proceso habría que eliminar la parte de acera de la glorieta que se ve afectada.

La intersección en T se vería afectada en mayor medida, ya que se va a transformar en una glorieta. Esto conlleva el diseño de los ramales de entrada y de salida para cada una de las vías. Los pasos de cebra existentes en el cruce necesitan ser trasladados ya que se encuentran en la zona en la que va a situarse la rotonda. Los semáforos se eliminarían debido a que también se encuentran en esa misma zona, aunque habría que estudiar si la nueva localización de los pasos de cebra requeriría también semáforos para permitir el paso de peatones. Por último, una porción del parque cercano al cruce se vería eliminada para poder dejar espacio a la glorieta y sus encajes.

El vial afectaría a dos caminos. El primero de ellos, la Vereda de los Leñeros, cruza la mayor parte de la zona cercana al vial. Esta parte del camino desaparecería y para mantener el resto del camino habría que realizar una salida del vial. Esto también pasaría con las dos edificaciones existentes, que quedarían incomunicadas. En este proyecto no se ha resuelto este problema pero habría que diseñar dos pequeñas vías que comunicasen estas edificaciones con el vial. El otro camino, la Vereda de Arroyomolinos, se vería interrumpido en su enlace con el cruce. Una solución a esto podría ser cortar la acera en esta parte y dejar el camino,



permitiendo a los vehículos acceder a él desde la glorieta. Otra opción sería desplazar el enlace del camino con la zona urbana de Móstoles.

Las líneas eléctricas que van desde la zona urbana a las edificaciones citadas anteriormente también se verían interrumpidas. Sería necesario trasladar los postes que la definen a la zona externa al nuevo vial.

Por último, quedaría afectada la hidrografía. Como ya se explicó en el punto *1.2 Localización*, el vial corta una vaguada indicada como curso de aguas intermitentes, llamado Arroyo de Gil Manzano. Esto se resolvería colocando una obra de fábrica bajo el vial para permitir el paso de aguas en caso de su aparición.

4.6. SEÑALIZACIÓN

Existen dos tipos de señalización en carretera, que son la señalización vertical y la señalización horizontal. Estas se explican en dos diferentes apartados.

4.6.1 Señalización vertical

Las señales verticales son aquellas señales de regulación del tránsito destinadas en su gran mayoría a los conductores de los vehículos colocadas al costado de la vía o elevadas sobre esta. Suelen estar representadas sobre una placa y ubicadas sobre un soporte. En España se regulan mediante la Norma 8.1-IC (Señalización Vertical).

Las señales verticales se clasifican según su funcionamiento en señales de advertencia de peligro, señales de reglamentación, señales de indicación y paneles complementarios. Se pueden diferenciar por su forma y color.

Los objetivos que persigue esta señalización son aumentar la seguridad de la circulación, la eficacia de la circulación y la comodidad de la circulación. Para ello el criterio que sigue es el de tener claridad al transmitir mensajes fácilmente comprensibles para los usuarios, la sencillez al emplear el mínimo número posible

de elementos y la uniformidad tanto en los elementos en sí como en la implantación y los criterios utilizados.

Dependiendo del tipo de carretera se establece el tamaño de las señales. La carretera de este proyecto se consideraría carretera convencional con arcén, por lo que sus tamaños serían los definidos en la figura 4.20.

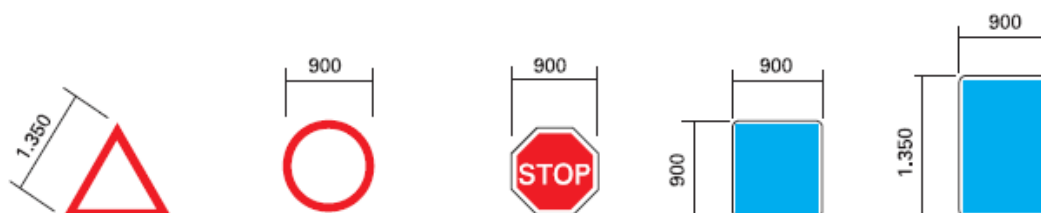
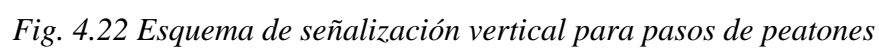
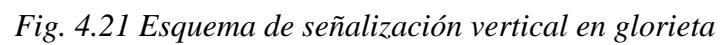


Fig. 4.20 Tamaños de señales para carretera convencional con arcén

La única señalización existente en el vial es la concerniente a las glorietas, ya que las curvas existentes no requieren señalización, no es una carretera en la que se pueda adelantar y no hay elementos que requieran señalizarse. En las zonas urbanas si se hace necesario el uso de señalización para los pasos de peatones.

La norma establece un criterio claro para la disposición de las señales verticales en glorieta (figura 4.21)

La disposición de las señales concernientes a los pasos de peatones también quedan establecidas por la norma (figura 4.22).





4.6.2 Señalización horizontal

La señalización horizontal, conocida como marcas viales, es el conjunto de líneas o figuras, aplicadas sobre el pavimento, que tienen por misión satisfacer una o varias funciones entre las que se encuentran:

- Delimitar carriles de circulación
- Separar sentidos de circulación
- Indicar el borde de la calzada
- Delimitar zonas excluidas a la circulación regular de vehículos
- Reglamentar la circulación, especialmente el adelantamiento, la parada y el estacionamiento
- Completar o precisar el significado de señales verticales y semáforos
- Repetir o recordar una señal vertical
- Permitir los movimientos indicados
- Anunciar, guiar y orientar a los usuarios

La señalización horizontal se rige por la Norma 8.2-IC (Marcas Viales).

La línea discontinua se utiliza para separar carriles del mismo sentido de circulación y para tramos con posibilidad de adelantamiento. La marca vial usada para señalar la línea discontinua es la M-1.3, correspondiente para vías con velocidad igual o menor a 60 km/h.

Tanto los límites de calzada como la separación de carriles en diferente sentido se han señalado mediante línea continua (M-2.1). En el caso de las calles con tres carriles en total se usa también línea continua para separar los diferentes sentidos (M-2.2) y en el caso de dos carriles por sentido se debe usar una línea continua doble (M-2.3).

Las entradas a las glorietas se señalizan mediante marcas transversales (M-4.2) para señalar el ceda el paso junto con una marca vial de ceda el paso (M-



6.5). En la parte de las isletas que se encuentra dentro de la glorieta se ha dibujado un cebreado (M-7.1), siendo este el correspondiente a circulación de doble sentido.

En cada uno de los ramales de la glorieta se ha colocado un paso de cebra (M-4.3). Este se ha situado al menos a 3 metros antes de la isleta. Se han creado con un ancho de 4 m.

Por último se han acortado los aparcamientos que se encuentran en el cruce de Móstoles puesto que no deben estar situados a menos de 5 m de la zona donde empieza la curva de salida o entrada.

4.7. DISEÑO DE LA CARTOGRAFÍA FINAL

Una vez que se ha concluido el diseño de todo lo concerniente al vial se han elaborado una serie de planos y listados cuya finalidad es la de presentar toda la información necesaria para la construcción del proyecto. Los listados incluidos en el proyecto son los siguientes.

- Puntos singulares en planta
- Vértices en longitudinal
- Movimientos de tierras (volúmenes)

Por otra parte los planos elaborados y adjuntos al proyecto son:

1. Plano de situación
2. Plano de levantamiento
3. Plano de trazado en planta
4. Plano de replanteo y alineaciones
5. Perfil longitudinal
6. Sección tipo
7. Secciones transversales
8. Plano de expropiaciones
9. Plano de señalización



El plano de situación tiene como propósito transmitir el emplazamiento geográfico de la zona de proyecto.

El plano de levantamiento contiene los elementos observados en el levantamiento, previamente al diseño del vial. Los elementos representados son los ya explicados en el apartado 3.5 *Diseño de la cartografía*. Se han aplicado distintos colores para todos los elementos representados, destacando las curvas de nivel en color siena y las curvas maestras en un marrón más oscuro y con mayor grosor de línea y se han utilizado símbolos para representar elementos como postes de la luz o vegetación por ejemplo.

El plano de replanteo y alineaciones es una representación de los ejes en planta de los viales diseñados. Sobre ellos aparecen las marcas de punto kilométrico y los puntos singulares junto con los parámetros de las alineaciones. También están representadas las bases. La cartografía inferior se ha dispuesto en un color gris claro con el fin de pasarla a un segundo plano en su visualización.

El plano de trazado en planta es similar al anterior, pero con la planta completa del vial sobre la cartografía del levantamiento. Se observan de forma diferenciada los elementos que componen la planta (arcén, límite de calzada, etc.) y los terraplenes y desmontes creados. De nuevo la cartografía inferior se ha dibujado en un color gris claro.

La sección longitudinal se ha representado en el plano de longitudinales. Su escala horizontal es 1/1000, y la escala vertical debe ser 10 veces menor, por lo que es 1/100. El plano del longitudinal del vial ha tenido que dividirse en tres hojas debido a su longitud.

La sección transversal se ha dividido en dos tipos de plano. El primero es el de secciones tipo. Este presenta las diferentes secciones tipo presentes en el proyecto, incluyendo el tipo y ancho de firme. En total son tres, que son la sección tipo de la glorieta y las secciones tipo del vial en zona urbana y en no urbana. Estas secciones tipo están dibujadas a escala 1/100.

Por otra parte se ha realizado un plano de secciones transversales, que contiene las secciones transversales del vial y la glorieta cada 20 m, además de los perfiles en los puntos singulares a escala 1/200.

El plano de señalización incluye la señalización (vertical y horizontal) sobre el trazado en planta del vial. Las marcas viales se han representado tal cual se verían en la realidad, ya que forman parte de la planta. La señalización vertical se ha representado mediante un símbolo en el que se observa el lugar de situación sobre el plano y la orientación de la señal. Estas señales se han relacionado con una imagen de la señal a la que corresponde para permitir la identificación de cada una de estas y su código en la norma.

Dado que los planos de trazado en planta, levantamiento, replanteo y alineaciones y señalización necesitan una escala adecuada que permita diferenciar los elementos presentes, se ha utilizado la escala 1/500 como ya se ha mencionado en apartados anteriores.

Debido a que el tamaño del proyecto a esta escala es superior al que puede entrar en un formato de papel DIN-A1, ha sido necesaria una división de la cartografía en varias hojas. La división se ha realizado de forma homogénea y creando solapes entre hojas, estando las zonas de principio y final centradas en su hoja correspondiente. El número total ha sido de 6 hojas con la siguiente disposición:

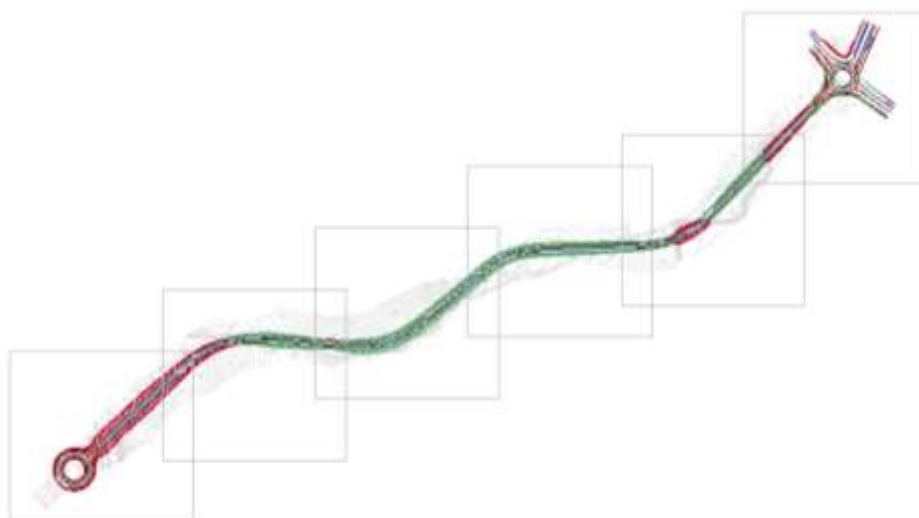


Fig. 4.23 Esquema de la distribución de hojas



Todos estos planos en los que se ha aplicado la separación en hojas disponen del mismo formato de representación. Este consiste en un cajetín en el margen derecho que incluye la leyenda y todos los parámetros propios de la cartografía. El área real representada en cada hoja es de 300x277m. Se ha creado una cuadrícula de 50 m en cada eje, coincidiendo el norte del papel con la dirección norte en la cuadrícula UTM.

El formato para el que se han realizado e impreso todos los planos es DIN-A1. Por motivos prácticos y económicos tan solo se ha impreso una hoja de cada tipo de plano y solo para una de las memorias. Tanto los planos no impresos como los impresos se encuentran en formato digital.



5. EXPROPIACIONES

El trazado de una carretera requiere la adquisición de todos los terrenos por los que discurre esta. Al considerarse como una obra de interés general o interés público es necesario obtener estos terrenos mediante la expropiación forzosa. Para ello es necesaria la delimitación del polígono de suelo afectado. Actualmente las expropiaciones forzosas son competencia de las Comunidades Autónomas, que en este caso sería la Comunidad Autónoma de Madrid. La legislación en la que se ha basado este apartado ha sido en la Ley 3/1991 de 7 de Marzo, de Carreteras de la Comunidad de Madrid. Estos conceptos quedan fijados en el Artículo 18.1 y 18.2:

“La aprobación de los proyectos de carreteras u otras infraestructuras viarias implicará la declaración de utilidad pública y la necesidad de urgente ocupación de los bienes y adquisición de derechos correspondientes, a los fines de expropiación, de ocupación temporal o de imposición y modificación de servidumbres.

La declaración de utilidad pública y la necesidad de urgente ocupación se referirá también a los bienes y derechos comprendidos en el replanteo del proyecto y en las modificaciones de obras que puedan aprobarse posteriormente.”

Según la Ley utilizada, en el Artículo 30.1 se establece como zona de dominio público:

“Son de dominio público los terrenos ocupados por las carreteras estatales y sus elementos funcionales, y una franja de terreno de ocho metros de anchura en autopistas, autovías y vías rápidas, y de tres metros en el resto de carreteras, medidas horizontales y perpendicularmente al eje de la misma, desde la arista exterior de la explanación.

La arista exterior de la explanación es la intersección de talud de desmonte del terraplén o, en su caso, de los muros de sostenimiento colindantes con el terreno natural.

En los casos especiales de puentes, viaductos, túneles, estructuras u obras similares se podrá fijar como arista exterior de la explanación la línea de proyección ortogonal del borde de las obras sobre el terreno. Será en todo caso de dominio público el suelo ocupado por los soportes de la estructura.

En los tramos de carreteras que discurren por suelo urbano consolidado, será de dominio público la franja de terreno existente hasta las alineaciones que fije el planeamiento. En caso de no existir alineaciones fijadas, la franja de dominio público será la establecida en el párrafo primero de este apartado.”

De este artículo se extrae, teniendo en cuenta el proyecto realizado, que la distancia a expropiar para la carretera diseñada en este proyecto es de 3 m. Para ello se ha generado en la cartografía una línea a 3 m de la línea definida en cada margen de la carretera como explica el artículo.

La zona del proyecto se encuentra dividida entre los polígonos 017, 018, 019 y 020 de Móstoles y el polígono 003 de Arroyomolinos, que se ven en la figura 5.1.



Fig. 5.1 Polígonos presentes en la zona



No ha sido posible la obtención de algún tipo de cartografía catastral. Por lo tanto, la forma de obtener los límites de las parcelas afectadas ha sido utilizando la ortofoto del PNOA a máxima resolución correspondiente a esta zona y los datos del visor SIGPAC. Sobre la ortofoto se han ido definiendo los límites de parcelas. En unos casos había una diferencia clara sobre la ortofoto y en otros se han buscado las coordenadas de los límites en el visor SIGPAC y se han dibujado.

Teniendo las líneas de expropiación y los límites de parcelas se ha determinado la superficie a expropiar de cada una de las parcelas afectadas. Las regiones encerradas entre las líneas de expropiación y los límites de las parcelas delimitan la superficie a expropiar. Definidas estas regiones se ha medido la superficie de cada una de ellas.

Para el procedimiento de tasación se puede optar por dos métodos, que son la tasación individual de cada finca para determinar el justiprecio y la tasación conjunta. Para poder realizar una tasación en cada superficie a expropiar se necesita conocer el tipo de terreno. Esta información se ha extraído a partir del visor SIGPAC. En función del tipo de terreno de cada parcela se ha aplicado una cantidad a entregar por m². Los valores seleccionados para ello son los siguientes:

- Cereal de regadío: 2,70 €/m²
- Cereal de secano: 1,80 €/m²
- Improductivo/pastos: 0,75 €/m²

Multiplicando los valores de cada tipo de terreno correspondiente por el área de la parcela a expropiar se obtienen finalmente la cantidad de dinero a entregar a cada propietario. Las cantidades y la suma total aparecen en el apartado de anexos.

Además del cálculo del valor de las expropiaciones se ha elaborado la cartografía a escala 1/3.000 (en formato DIN-A1). En ella se puede observar el trazado en planta del vial, los límites de expropiación y las parcelas afectadas. Estas parcelas se han señalado con un cajetín que sigue el siguiente esquema:

Nº de polígono	Nº de parcela
Superficie a expropiar (m ²)	



Fig. 5.2 Parcelas expropiadas sobre ortofoto

6. PRESUPUESTO

Finalmente, el proyecto concluye con el cálculo de los presupuestos. El cálculo de presupuestos consiste en evaluar todos los costes que se producen en la ejecución de un proyecto en valor monetario.

Para determinar el presupuesto es necesario utilizar los precios básicos unitarios. Los precios unitarios son aquellos que sirven para valorar las distintas unidades de obra. Son distintos para las diferentes unidades y su determinación se realiza por medio de lo que se conoce como descomposición de precios. Los precios unitarios utilizados en el cálculo son:

Mano de obra:

- Ingeniero Técnico en Topografía: 20000 €/año, que con seguros sociales e IRPF presenta un coste anual para la empresa de 29000 € anuales. Tomando como año laboral de 240 días el resultado del precio por día es de 120,83 €, por lo que el precio unitario por hora, a 8 horas por día, es de 15,10 €/h.
- Auxiliar de Topografía: 15000 €/año, que con seguros sociales e IRPF presenta un coste anual para la empresa de 21750 € anuales. El precio por día resulta 90,62 €, siendo el precio unitario de 11,33 €/h.

Maquinaria y complementos:

- Alquiler equipo GPS: 395 € por una semana, que usado 5 días son 79€/día, y el precio unitario 9,88 €/h.
- Alquiler nivel digital: 70 € por una semana, que usado 2 días son 35€/día, y el precio unitario 4,37 €/h.
- Gasolina: utilizando un valor de 1,33 €/l y teniendo en cuenta que cada día se han recorrido 40 km, con gasto de 5 l a los 100 km sale un precio unitario de 0,07 €/km.



- Abono transporte: 54,60 €/mes. Tomando como 20 días hábiles al mes salen 2,73 €/día, y 0,34 €/h.
- Ordenador: 1000 €, que entre 3 años sale 1,39 €/día, y 0,17 €/h.
- Licencia de software: 10000 €, que en 3 años sale 13,89 €/día, y 1,74 €/día.

Materiales:

- Estacas: 0,15 €/ud.
- Encuadernación: 30 €/ud.
- Impresión DIN-A4 B/N: 0,05 €/ud.
- Impresión DIN-A4 color: 0,10 €/ud.
- Impresión DIN-A1 color: 2,00 €/ud.
- CD-ROM: 0,50 €/ud.

El presupuesto se obtiene de forma parcial dividiéndose en cada una de las partes del proyecto. Una vez obtenidos estos presupuestos se calcula el presupuesto total como suma de todo el conjunto. Por medio de los precios unitarios y teniendo en cuenta la cantidad/tiempo utilizado por cada uno de los conceptos en cada parte del proyecto. Su suma hace cada uno de los presupuestos parciales. A esta suma se ha añadido un 3% del coste en concepto de gastos indirectos. El desglose de los precios unitarios por actividades (precios descompuestos) es el siguiente:

RECONOCIMIENTO DE LA ZONA			Precio del reconocimiento de una Ha de terreno	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
0,62	h	I.T. en Topografía	15,10	9,36
4,17	km	Gasolina	0,07	0,28
3	%	Costes indirectos		0,29
Total				9,93 €/Ha



RED			Precio por la obtención de una de las bases de la red. Incluye la materialización y observación.	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
1,33	h	I.T. en Topografía	15,10	20,09
1,33	h	Aux. de topografía	11,33	15,07
2,67	h	Equipo GPS	9,88	26,37
1	ud	Estaca	0,15	0,15
6,67	km	Gasolina	0,07	0,44
3	%	Costes indirectos		1,86
Total				63,98 €/Base

LEVANTAMIENTO			Precio por la obtención de una hectárea de levantamiento.	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
3,33	h	I.T. en Topografía	15,10	50,30
3,33	h	Aux. de topografía	11,33	37,72
6,67	h	Equipo GPS	9,88	65,87
16,67	km	Gasolina	0,07	1,11
3	%	Costes indirectos		4,65
Total				159,64 €/Ha

NIVELACIÓN			Precio por la obtención de un kilómetro de nivelación de ida y vuelta.	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
9,05	h	I.T. en Topografía	15,10	136,69
9,05	h	Aux. de topografía	11,33	102,51
9,05	h	Nivel digital	4,38	39,59
45,27	km	Gasolina	0,07	3,01
3	%	Costes indirectos		8,45
Total				290,26 €/km ida y vuelta

TRABAJO DE GABINETE			Precio por hora de trabajo realizado en gabinete. Incluye el ajuste de los datos de campo, definición del vial y confección de la cartografía.	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
1	h	I.T. en Topografía	15,10	15,10
1	h	Ordenador	0,17	0,17
1	h	Licencias de software	1,74	1,74
1	h	Transporte	0,34	0,34
3	%	Costes indirectos		0,52
Total				17,88 €/h



IMPRESIÓN DE MEMORIA Y PLANOS			Precio de cada uno de los tomos de memoria junto con los planos.	
Cantidad	Concepto	Concepto	Precio unitario	Subtotal
1	ud	Encuadernación	30,00	30,00
25	ud	Impresión A4 B/N	0,05	1,25
100	ud	Impresión A4 Color	0,15	15,00
3	ud	Impresión A1 Color	2	6,00
3	%	Costes indirectos		1,57
Total				53,82
				€/unidad

Con estos datos unitarios por actividades se calcula el precio total de cada una de ellas como el producto del precio unitario por las unidades utilizadas.

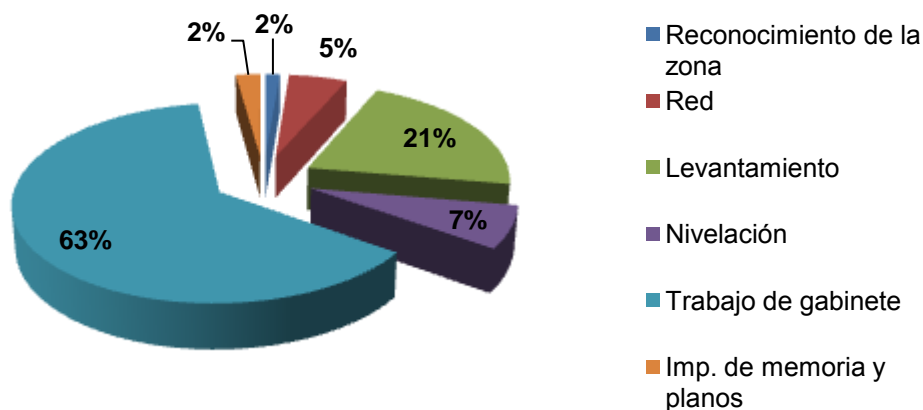
	Precio unitario	Cantidad	Unidad	Precio (€)
Reconocimiento de la zona	9,93	9,60	Ha	95,34
Red	63,98	6	Base	383,86
Levantamiento	159,64	9,60	Ha	1.532,55
Nivelación	290,26	1,77	Km ida y vuelta	513,76
Trabajo de gabinete	17,88	256	h	4.576,17
Imp. de memoria y planos	53,82	3	ud	161,45
SUMA TOTAL				7.263,13 €

Para el cálculo del presupuesto total además de realizar la suma del conjunto es necesario aplicar la suma del 13% en concepto de gastos generales y el 6% en concepto de beneficio industrial, resultando el precio de ejecución material. Al precio de ejecución material se le aplica posteriormente el IVA, que es el 21% actualmente. El resultado final es:

	Total	G. Generales (13%)	B. Industrial (6%)	IVA (21%)	TOTAL
Reconocimiento de la zona	95,34	12,39	5,72	23,82	137,27
Red	383,86	49,90	23,03	95,93	552,72
Levantamiento	1.532,55	199,23	91,95	382,98	2.206,72
Nivelación	513,76	66,79	30,83	128,39	739,77
Trabajo de gabinete	4.576,17	594,90	274,57	1.143,58	6.589,22
Imp. de memoria y planos	161,45	20,99	9,69	40,35	232,48
SUMA TOTAL	7.263,13	944,21	435,79	1.815,06	10.458,18 €

Y representado de forma gráfica según porcentajes:

Distribución de presupuesto por actividades



Los precios distribuidos por conceptos y ordenados de mayor a menor:

Concepto	Precio (€)	% del total
I.T. en Topografía	4.801,76	66,11
Equipo GPS	790,51	10,88
Aux. de topografía	633,96	8,73
Licencias de software	444,48	6,12
Costes indirectos	211,55	2,91
Encuadernación	90,00	1,24
Transporte	87,36	1,20
Nivel digital	70,08	0,96
Impresión A4 Color	45,00	0,62
Ordenador	44,48	0,61
Gasolina	21,29	0,29
Impresión A1 Color	18,00	0,25
Impresión A4 B/N	3,75	0,05
Estaca	0,90	0,01

Como se observa en la tabla, la mayor parte del presupuesto va en el gasto de I.T. en Topografía.



7. CONCLUSIONES

Del trabajo realizado en este proyecto se extraen varias conclusiones de cara a posibles futuros proyectos.

La primera conclusión y quizás la más importante es la importancia de una buena planificación previa a la realización del proyecto. El anteproyecto puede ayudar a agilizar los diferentes procesos que se van a efectuar en el proyecto y a evitar posibles problemas que pudiesen surgir sin esta planificación.

Otra conclusión es que la obtención de una cota oficial para el proyecto se puede hacer perfectamente mediante GPS, ya que la precisión que ofrece es lo suficientemente buena para ello. Esto es muy útil debido a que en muchas ocasiones no es posible acceder a un clavo de nivelación cercano, como ha pasado en este proyecto, o el esfuerzo que conlleva no merece la pena por ser un terreno complicado o haber demasiada distancia. A pesar de ello, creo que la mejor opción en caso de que se tenga la posibilidad es transmitir la cota desde un clavo por nivelación geométrica.



8. BIBLIOGRAFÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, “*Trazado: Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC*”. Madrid: Ministerio de Fomento, 2003.

ORDEN FOM/3460/2003, de 28 de Noviembre. “*Norma 6.1-IC. Secciones de Firme*”, de la instrucción de carreteras.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, “*Señalización Vertical: Instrucción de Carreteras. Norma 8.1-IC*”. Madrid: Ministerio de Fomento, 2011.

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, “*Trazado: Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC*”. Madrid: Ministerio de Fomento, 2003.

MOPU. “*Marcas Viales: Instrucción de Carreteras. Norma 8.2-IC*”. Textos de la Dirección General de Carreteras. Madrid, Mayo de 1987.

MOPU. “*Recomendaciones sobre Glorietas*”. Textos de la Dirección General de Carreteras. Madrid, Mayo de 1989.

DE LA HOZ, C.; POZUELA, J. “*Recomendaciones para el Diseño de Glorietas en Carreteras Suburbanas*”. Textos de la Dirección General de Carreteras. Madrid, Mayo de 1989.

- Bibliografía web:

<http://www.ign.es>

<http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

<http://www.iberef-gps.com/spiderweb/frmlIndex.aspx>

<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>

<http://www.goolzoom.com/>